

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

# **ИСПЫТАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

*Лабораторный практикум*

**Часть 1**

**для студентов строительных специальностей**

**Брест 2003**

УДК 620.1.001.53  
ББК 30.3 я 73  
Ш 18

**Рецензент:** директор НТЦ Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь А.Я. Найчук, к.т.н.

**Шалобыта Т.П., Марчук В.А.**  
Ш18 Испытания строительных материалов и изделий. Лабораторный практикум. Часть 1. – Брест: Изд-во БГТУ- 2003 г. – 64 с.

**ISBN 985-6584-67-1**

В лабораторном практикуме приведены общие сведения об основных строительных материалах, применяемых в современном строительстве (неорганических вяжущих веществах, заполнителях для бетонов и растворов и др.), методы определения их качества в соответствии с действующими стандартами. Дано краткое описание лабораторного оборудования и измерительных инструментов, понятие о метрологии и некоторых простых методах испытаний материалов в полевых условиях.

Практикум предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по строительным специальностям.

Таблиц 42, рисунков 23 , библиографических названий 9.

**УДК 620.1.001.53  
ББК 30.3 я 73**

**ISBN 985-6584-67-1**

© Шалобыта Т.П., Марчук В.А., 2003  
© Издательство БГТУ, 2003

## **Предисловие**

Инженеры строительных специальностей должны иметь хорошую материаловедческую подготовку. Знание свойств материалов, рациональное применение их в строительстве позволит грамотно и качественно проектировать, строить и эксплуатировать здания и сооружения различного назначения.

Для достижения высокого уровня знаний учебной программой курса «Строительные материалы» предусмотрено выполнение лабораторных работ, на которых студенты учатся работать с нормативными документами, проводят испытания основных строительных материалов с целью определения их важнейших характеристик и оценки качества. К выполнению лабораторных работ студенты должны приступать только после изучения соответствующих вопросов по учебнику, лекционному материалу и методической литературе. При работе в лаборатории учащиеся обязаны выполнять требования техники безопасности и работать с оборудованием в соответствии с инструкцией по его эксплуатации.

# **1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

## **1.1. Измерительная техника**

Для испытания строительных материалов используются различные технические средства, имеющие нормированные метрологические свойства. Средства измерений делят на меры и измерительные приборы.

Мера — средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины данного размера.

Измерительный прибор — средство измерения, предназначенное для измерения, анализа и представления информации в определенном виде.

Основные метрологические показатели приборов: цена деления шкалы, начальное и конечное значение шкалы, погрешности измерений.

Цена деления шкалы должна обеспечивать измерение заданной величины с заданной точностью, предел измерений по шкале прибора должен не менее, чем на  $1/3$  превышать значение измеряемой величины.

Погрешность измерения — отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины. Различают погрешность абсолютную, выражаемую в единицах измеряемой величины, и относительную, представляющую собой отношение абсолютной погрешности к значению измеряемой величины. Средства измерений выбирают так, чтобы их допуская погрешность в заранее установленных условиях применения не превышала погрешности, установленной стандартом или техническими условиями на данный вид измерения материала.

*Основные приборы и оборудование, применяемые для испытаний строительных материалов.*

*Технические коромысловые двухчашечные весы изображены на рис. 1.1. На коромысле 1 на призмах подвешены обоймы 2, соединённые тягами 4 с чашками 6. Перед началом взвешивания проверяют весы и при необходимости их регулируют. До этого винтами 7 устанавливают отвес 12*

строго перпендикулярно. Затем, открыв арретир 9, проверяют уравновешенность весов: стрелка ненагруженных весов должна указывать на нулевое деление шкалы 10 или отклоняться (колебаться) от него на равные расстояния. Если это условие не выполняется, то перемещением (вращением) грузов 3 стрелку 11 приводят в нулевое положение. В нерабочем состоянии коромысло весов всегда должно быть установлено на опоры поворотом рукоятки арретира 9.

Технические коромысловые весы выпускают двух классов: 1-го (марок ВЛТ-1 кг, ВЛТ-10кг-1, ВЛТ-20кг-1 и ВЛТ-50кг-1 с погрешностью взвешивания соответственно 10, 50, 100 и 200мг) и 2-го (марок ВЛТ-200г, ВЛТ-1кг, ВЛТ-5кг с погрешностью взвешивания соответственно 50, 100 и 30мг).

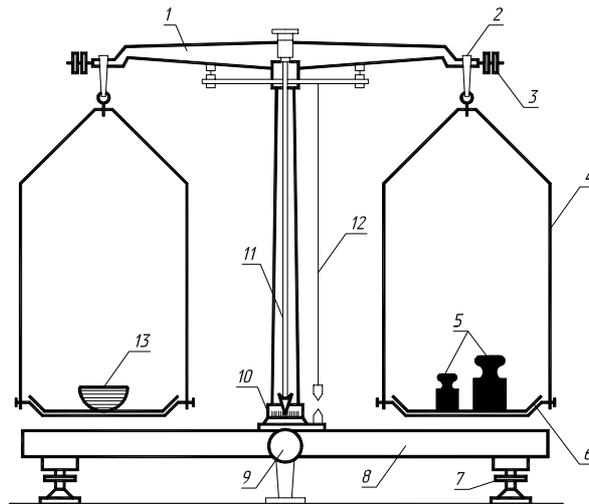


Рис. 1.1. Технические коромысловые двухчашечные весы

- 1 – коромысло; 2 – обойма; 3 – грузы;
- 4 – тяги; 5 – разновесы; 6 – чашки;
- 7 – винты; 8 – станина; 9 – арретир;
- 10 – шкала; 11 – стрелка; 12 – отвес;
- 13 – взвешиваемый материал.

*Испытательная машина для определения предела прочности при изгибе МИИ-100* изображена на рис. 1.2. Машина МИИ-100 состоит из двух основных частей: станины 1 и коромысла 2. Усилие, создаваемое грузом 9, перемещающимся по направляющим 10 коромысла, передается посредством рычажной системы на захваты 12. Положение груза на коромысле, определяющее величину приложенной на образец нагрузки, фиксируется счетчиком 13, указывающим величину напряжения изгиба. Перемещение груза осуществляется электродвигателем через редуктор 7 и ходовой винт 8. При изгибе балочки сечением 40×40 мм на пролете 100 мм соотношение между усилием, действующим на захватах, и напряжением изгиба (показанием счетчика) следующее:  $P$  соответствует  $4,267 \cdot \sigma$ . Постоянная скорость нагружения поддерживается центробежным регулятором 14, регулирующим скорость вращения электродвигателя.

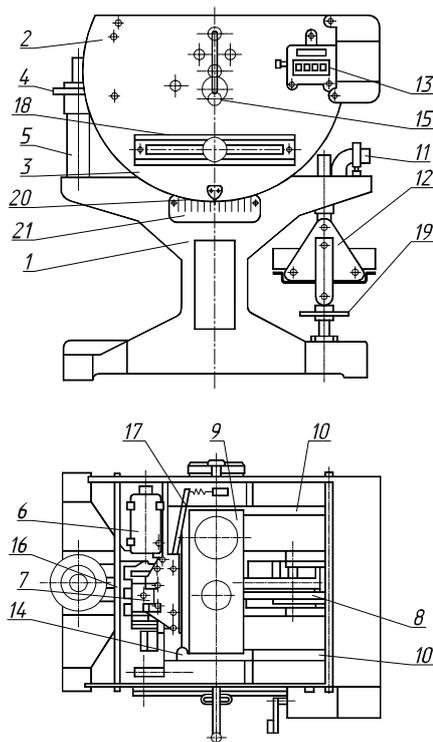


Рис. 1.2. Испытательная машина МИИ-100

- 1 – станина; 2 – коромысло; 3 – боковина; 4 – шайба; 5 – амортизатор;  
 6 – электродвигатель; 7 – редуктор; 8 – ходовой винт; 9 – груз;  
 10 – направляющие; 11 – рычаг; 12 – захват; 13 – счетчик;  
 14 – центробежный регулятор; 15 – рукоятка управления;  
 16 – шпилька; 17 – рычаг переключателя; 18 – регулировочный груз;  
 19 – винт захвата; 20 – стрелка; 21 – шкала.

*Гидравлический пресс*, применяемый для испытания образцов строительных материалов на сжатие, изображен на рис. 1.3.

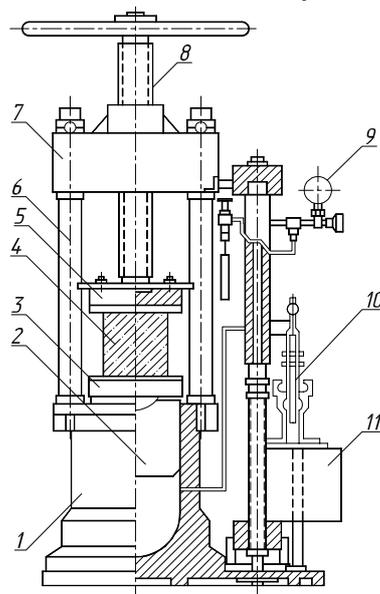


Рис. 1.3. Гидравлический пресс

- 1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – нижняя опорная плита; 4 – образец;  
 5 – верхняя опорная плита; 6 – колонны; 7 – траверса;  
 8 – упорный винт; 9 – манометр; 10 – насос; 11 – бачок для масла.

**Штангенинструменты** — инструменты для измерения и разметки, в которых повышенная точность измерения достигается использованием специального приспособления — нониуса. Основным видом штангенинструмента — штангенциркули (ГОСТ 166-80).

Штангенциркуль (рис. 1.4) представляет собой штангу 1, на которую нанесена шкала с ценой деления 1 мм. С одной стороны штанга заканчивается неподвижной измерительной губкой 2. Вторая подвижная измерительная губка находится на рамке 3, скользящей по штанге. Рамка может быть закреплена в любом положении винтом 4. На рамке расположена шкала, называемая нониус 5. Штангенциркули могут быть снабжены глубиномером 6 (рис. 1.4).

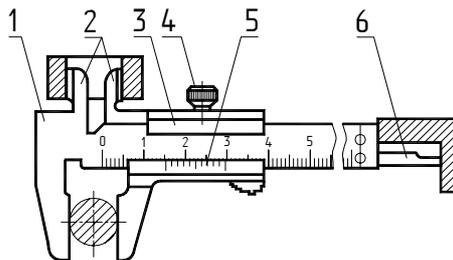


Рис. 1.4. Штангенциркуль с глубиномером  
1 – штанга; 2 – губки; 3 – рамка; 4 – винт; 5 – нониус; 6 – глубиномер.

## 1.2. Статистическая обработка результатов испытаний

При проведении испытаний строительных материалов требуется статистическая обработка полученных результатов, проверяется достоверность полученных данных, оценивается точность измерения. Чаще всего определяют следующие показатели:

- среднее арифметическое значение рассматриваемых случайных величин:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n};$$

где  $x_i$  — результаты, полученные при испытании образцов;  
n — число испытаний.

- среднее квадратичное отклонение:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (1.1)$$

- коэффициент вариации, характеризующий изменчивость рассматриваемого признака:

$$C_v = \frac{100 \delta}{\bar{x}} \quad (1.2)$$

- оценку измеряемой величины:

$$x = \bar{x} \pm \delta \quad (1.3)$$

### **1.3. Отбор проб**

При определении качества и технических характеристик строительных материалов и изделий, испытаниям подвергается лишь небольшая, специально отобранная часть материала. В стандартах на материалы и изделия обязательно указывают методы отбора и объём проб (**выборок**) от каждой партии материала, а также размеры партии материала.

**Метод квартования**. Дисперсные материалы тщательно перемешивают и насыпают в виде конуса. Конус затем разравнивают в виде круга толщиной 1...10 см и разделяют двумя взаимно перпендикулярными разрезами на четыре одинаковые части. Любые две противоположные части отбрасывают, а оставшиеся четверти снова тщательно перемешивают, формируют конус и последовательно продолжают квартовать до получения требуемого объёма пробы (рис.1.5).

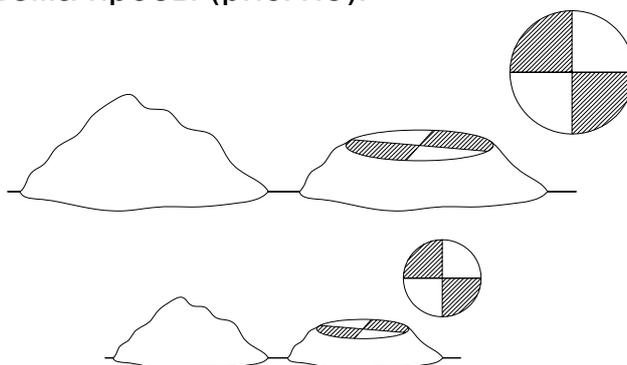


Рис. 1.5. Отбор проб методом квартования

На отобранную пробу составляют учётную карточку, в которой указывают следующие сведения: наименование материала, дату отбора пробы, место отбора пробы, вид упаковки и т.д.

## **2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Свойства материалов** — это показатели, с помощью которых можно оценить взаимодействие материала с окружающей средой, его пригодность для работы в конкретных условиях. В соответствии с характером воздействия на материал, свойства делят на физические, механические и химические. **Основными** называются свойства, одинаково важные для всех строительных материалов (плотность, прочность), **специальными** называются свойства оценивающие пригодность материала для работы в специальных условиях (огнеупорность).

### **2.1. Основные физические свойства материала**

#### **2.1.1. Плотность материала**

**Плотностью** называется масса единицы объёма материала. Чтобы вычислить плотность  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>), надо знать его массу (кг) и объём (м<sup>3</sup>):

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2.1)$$

где  $m$  — масса материала, кг  
 $V$  — объём материала, м<sup>3</sup>.

### Определение истинной плотности

Истинная плотность  $\rho$  — плотность вещества, из которого состоит материал, т.е. масса единицы объёма однородного материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без учёта пор, трещин, пустот:

$$\rho = \frac{m}{V_a}, \quad (2.2)$$

где  $m$  — масса материала, кг.

$V_a$  — абсолютный объём материала,  $m^3$ .

Чтобы определить истинную плотность, испытуемый материал должен быть в абсолютно плотном состоянии (т.е. без пор и пустот). Для этого материал тонко измельчают так, чтобы каждая частица не имела внутри себя пор. Измельченный материал просеивают через сито с размером отверстий 0,2 мм, и высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы. До проведения испытаний материал хранят в эксикаторе, чтобы порошок не впитал влаги из воздуха. Истинную плотность определяют пикнометрическим способом или с помощью прибора Ле Шателье.

Материалы и оборудование: испытуемый материал; жидкость, инертная к испытуемому материалу; пикнометр (или прибор Ле Шателье); весы технические; воронка; фильтровальная бумага.

Выполнение работы. Пикнометр (прибор Ле Шателье) наполняют жидкостью, инертной к испытуемому материалу, наполняют до нижней нулевой черты. Верхнюю часть вытирают фильтровальной бумагой. Из предварительно подготовленного материала отмеряют на технических весах навеску с точностью до 0,01 г. Взвешенную порцию порошка постепенно всыпают в пикнометр через воронку, пока уровень жидкости не достигнет верхней черты. Для удаления воздуха пикнометр поворачивают вокруг вертикальной оси. Остаток порошка взвешивают с точностью 0,01 г. Истинную плотность вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m - m_1}{V}, \quad (2.3)$$

где  $m$  — масса материала до испытания, г;

$m_1$  — масса остатка материала, г;

$V$  — объём жидкости, вытесненной материалом,  $см^3$ .

Испытания выполняют дважды, расхождение не должно превышать 0,02 г/см<sup>3</sup>. При большем расхождении выполняют ещё одно определение и принимают среднее арифметическое двух ближайших значений.

Таблица 2.1.

Определение истинной плотности  
Материал — ... , жидкость — ... .

Показатель	№ испытаний	
	1	2
Масса ..... до испытаний, $m$ , г		
Масса остатка ....., $m_1$ , г		
Объём ....., вытесненной ..... $V$ , $см^3$		
Истинная плотность ..... $\rho_n$ , $кг/м^3$		
Среднее значение истинной плотности ..... $\rho_n$ , $кг/м^3$		

## Определение средней плотности

Средняя плотность  $\rho_c$  – масса единицы объёма материала в естественном состоянии, т.е. с порами и пустотами.

Средняя плотность зависит от влажности материала, поэтому для каждого материала нормативные документы устанавливают влажность, при которой определяется его плотность. По величине средней плотности оценивают другие свойства материала, массу строительных конструкций. Метод определения средней плотности зависит от геометрической формы образца.

### I. Образцы материала правильной геометрической формы.

При испытании пористых материалов ребро кубических образцов должно быть не менее 10 см, диаметр и высота цилиндрических образцов – не менее 7 см; при испытании плотных материалов размеры образцов должны быть, соответственно, не менее 4 см.

Если нормативные документы предусматривают определение плотности в сухом состоянии, образец предварительно высушивают в сушильном шкафу при  $t=105... 110^\circ\text{C}$  до постоянной массы.

Материалы и оборудование: образцы материалов, измерительная линейка (или штангенциркуль), технические и циферблатные весы.

Выполнение работы. Предварительно подготовленный образец материала взвешивают с погрешностью до 0,1 г (при массе образца до 500 г) и не более 1 г (при массе более 500 г). Объём образца определяют с помощью измерительной линейки (точность 1 мм) или штангенциркулем (если размеры менее 100 мм) с точностью 0,1 мм. При измерении образцов в форме куба или параллелепипеда каждую грань измеряют в трех местах (см. рис. 2.1, а). Окончательный размер каждой грани (а, в, с) вычисляют как среднее арифметическое трех измерений. Объём рассчитывают по формуле:

$$V = a \cdot b \cdot c \quad (2.4)$$

При вычислении объёма цилиндрического образца, измеряют его высоту и диаметр (рис. 2.1, б).

Объём цилиндра:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h, \quad (2.5)$$

где:  $\pi = 3,14$

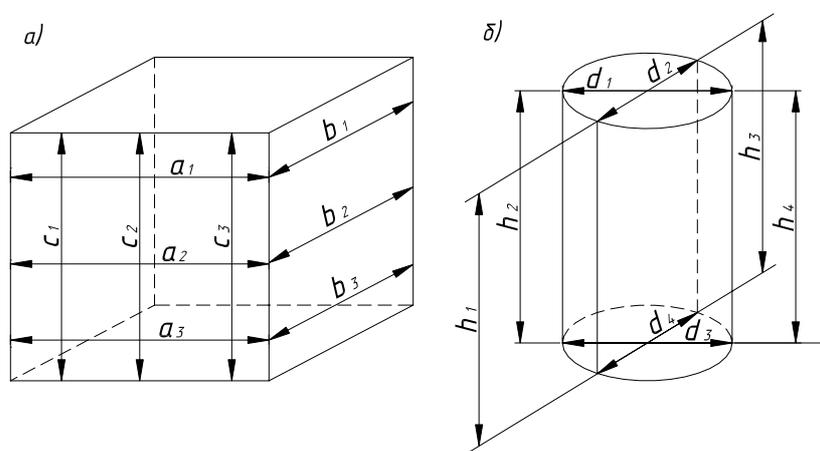


Рис. 2.1. Измерение опытных образцов

Таблица 2.2.

Определение средней плотности образцов правильной геометрической формы

Наименование материала	Объём образца $V$ , м <sup>3</sup>			Масса образца $m$ , кг	Средняя плотность $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>
	а, м	б, м	с, м		

II. Образцы материала неправильной геометрической формы.

Среднюю плотность образцов неправильной геометрической формы определяют методом гидростатического взвешивания или с помощью объёмомера.

Материалы и оборудование: образцы испытуемых материалов, весы технические, мерный цилиндр, стеклянный стакан, объёмомер.

Выполнение работы. Предварительно подготовленный и высушенный до постоянной массы образец взвешивают с точностью до 0,01 г и затем помещают в сосуд с водой так, чтобы уровень воды был на 20-100 мм выше поверхности материала. Образцы выдерживают в воде до полного заполнения водой открытых пор и микротрещин. В это время подготавливают к работе объёмомер. Для этого его устанавливают на горизонтальную поверхность и заполняют водой несколько выше сливной трубки. Когда стечет избыток воды, под конец трубки подставляют мерный цилиндр или предварительно взвешенный стакан.

Насыщенный водой образец вынимают из сосуда с водой, обтирают мягкой влажной тканью и помещают в подготовленный объёмомер. При погружении образца избыток воды вытекает через сливную трубку в мерный цилиндр (или в стакан). Когда истечение жидкости полностью прекратится, с помощью мерного цилиндра определяют объём вытесненной жидкости (или взвешивают стакан), который соответствует объёму образца материала. Среднюю плотность определяют по формуле (2.1).

Таблица 2.3.

Определение средней плотности образцов неправильной формы.

Наименование материала	Масса образца $m$ , г	Объём вытесненной воды $V_v$ , см <sup>3</sup>	Средняя плотность $\rho_c$ , г/см <sup>3</sup>

Данный способ определения средней плотности можно применять только для образцов плотных материалов. Высушенные образцы пористых материалов взвешивают, парафинируют, еще раз взвешивают, определяют их объём с помощью объёмомера, определяют объём парафина по формуле:

$$V_n = \frac{m_n - m_c}{\rho_n}, \quad (2.6)$$

где  $m_n, m_c$  — соответственно масса образца покрытого парафином и в высушенном состоянии, г;

$\rho_n$  — плотность парафина (0,93 г/см<sup>3</sup>).

Средняя плотность определяется по формуле:

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_g - V_n}, \quad (2.7)$$

где  $V_v$  — объём воды, вытесненной образцом, см<sup>3</sup>.

### Метод гидростатического взвешивания

**Материалы и оборудование:** гидростатические весы, технические весы, сосуд для насыщения водой, образцы материалов, часы, мягкая ткань.

**Выполнение работы.** Подготовленный высушенный до постоянной массы образец взвешивают на технических весах, а затем насыщают водой в течение 2-4 часов до полного заполнения пор и микротрещин. Уровень воды в сосуде должен быть на 20 мм выше поверхности материала. Насыщенный образец извлекают из воды, протирают влажной мягкой тканью и взвешивают (сначала на воздухе, затем – на гидростатических весах в воде).

Среднюю плотность  $\rho_c$  (г/см<sup>3</sup>) вычисляют по формуле:

$$\rho_c = \frac{m}{m_1 - m_2} \cdot \rho_{H_2O}, \quad (2.8)$$

где  $m$  — масса сухого образца, г;

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

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

$\rho_{H_2O}$  - плотность воды, г/см<sup>3</sup>.

С помощью гидростатических весов по методике, описанной выше, определяют среднюю плотность образцов, парафинируя их, а не насыщая водой.

Таблица 2.4.

Значения плотностей некоторых строительных материалов

Наименование материала	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	2	3
1. Сталь	7800-7850	7800-7860
2. Цемент	~ 3100	1100-1350
3. Древесина сосны в воздушно-сухом состоянии	1540	390-600
4. Габбро	2900-2920	2830-2880
5. Гранит	2700-2750	2580-2700
6. Туф вулканический	2600-2800	900-2200
7. Поропласты	1300-1400	20-50
8. Кирпич керамический обыкновенный	2600-2700	1600-1800
9. Кирпич керамический пустотелый	2600-2700	1200-1400
10. Бетон тяжелый	2600	2200-2600
11. Бетон ячеистый	2600	250-1200
12. Древесно-волоконная плита	1500	200-400
13. Мрамор	2600-2800	2700-2800

### 2.1.2. Пористость

Пористость – степень заполнения объёма материала порами. Пористость вычисляют в долях единицы:

$$\Pi = \frac{V_{ест.} - V_{абс.}}{V_{ест.}} = \frac{\frac{m}{\rho_c} - \frac{m}{\rho}}{\frac{m}{\rho_c}} = 1 - \frac{\rho_c}{\rho}, \quad (2.9)$$

где  $V_{ест.} = \frac{m}{\rho_c}$  — объём материала в естественном состоянии, см<sup>3</sup>;

$V_{абс.} = \frac{m}{\rho}$  — объём материала в абсолютно плотном состоянии, см<sup>3</sup>;

$\rho_c, \rho$  — соответственно средняя и истинная плотность материала, г/см<sup>3</sup> или кг/м<sup>3</sup>;

или в процентах:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho}\right) \cdot 100\% \quad (2.10)$$

Пористость является одной из важнейших характеристик строительных материалов, от которой зависят другие свойства (прочность, теплопроводность, водонепроницаемость). Поэтому часто надо знать не только общее значение пористости, но также размер пор, степень равномерности распределения пор по объёму материала и т.д. Для таких испытаний используют специальные приборы (установка ртутной порометрии, фотоэлектронная установка и др.).

Для характеристики сыпучих строительных материалов определяют их пустотность – степень заполнения объёма межзерновыми пустотами:

$$V_{\Pi} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_c}\right) \cdot 100\%, \quad (2.11)$$

где  $\rho_n$  — насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_c$  — средняя плотность зерен, кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 2.5

Определение пористости некоторых строительных материалов

Наименование материала	Истинная плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность $\rho_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Пористость, %

### 2.1.3. Влажность и водопоглощение.

Влажность — содержание влаги в материале, отнесенное к единице массы материала в сухом состоянии; зависит от свойств самого материала (пористости, гигроскопичности) и от характеристик окружающей среды (влажность воздуха, контакт с водой).

Для определения влажности образцы материала взвешивают с точностью до 1 кг, а затем высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы при  $t=105...110^{\circ}\text{C}$ . Взвешивания производят каждые 2 часа, до тех пор, пока два последовательных определения не дадут одинаковый результат.

Влажность образца в % определяют по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100\%, \quad (2.12)$$

где  $m_1$  — масса образца материала в естественно-влажном состоянии, г;

$m_2$  — масса материала, высушенного до постоянной массы, г.

Влажность материала есть среднее арифметическое из влажности 3-х испытанных образцов.

**Водопоглощение** — способность погруженного в воду материала впитывать её, а затем удерживать молекулярными и капиллярными силами при атмосферном давлении.

Для определения водопоглощения образцы материала высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при  $t=105...110^\circ\text{C}$ , затем взвешивают с точностью до 1 г и укладывают в сосуд с водой в один ряд так, чтобы над образцами был слой воды не менее 2 см. Выдерживают образцы в воде в течение времени, предусмотренного нормативными документами. После насыщения образцы вынимают из воды, обтирают влажной тканью и взвешивают.

Водопоглощение определяют по массе:

$$W_m = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%, \quad (2.13)$$

или по объёму:

$$W_V = \frac{V_{H_2O}}{V_{\text{см}}} = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{\rho_{H_2O}} \cdot \frac{\rho_c}{m_{\text{сух}}} = W_m \frac{\rho_c}{\rho_{H_2O}} = W_m \cdot d, \quad (2.14)$$

где  $m_{\text{нас}}$ ,  $m_{\text{сух}}$  — масса образца, соответственно, в насыщенном водой и сухом состоянии, г;

$\rho_{H_2O}$  — плотность воды, принимаемая  $1000 \text{ кг/м}^3$ ;

$d = \frac{\rho_c}{\rho_{H_2O}}$  — безмерная величина, выражающая отношение средней

плотности сухого материала к плотности воды.

#### **2.1.4. Морозостойкость**

**Морозостойкость** — свойство насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и значительного снижения прочности.

Испытание на морозостойкость материала проводится следующим образом: подготовленные образцы осматривают, измеряют и взвешивают. Затем образцы насыщают водой до постоянной массы, взвешивают повторно и помещают в холодильную установку. В камере образцы выдерживают при температуре не выше  $-17^\circ\text{C}$  до полного промораживания (продолжительность указывается в стандарте на материал). Затем замороженные образцы вынимают из холодильной камеры и оттаивают в ванне с водой при температуре  $18...20^\circ\text{C}$ . Оттаявшие образцы осматривают и, если нет видимых повреждений (отколов, трещин, шелушения и др.), начинают новый цикл испытаний: замораживание, оттаивание, осмотр и т.д. Через установленное стандартом для данного материала количество

циклов образцы взвешивают и испытывают на прочность, а результаты сравнивают с данными испытаний серии контрольных образцов.

Потеря в массе (%), вычисляется по формуле:

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 \%, \quad (2.15)$$

где  $m, m_1$  — масса высушенного образца, соответственно, до и после испытаний, г.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое из трех определений. Если требуется быстрое определение морозостойкости, то пользуются методом насыщения образцов раствором сернистого натрия или методом глубокого их замораживания (до  $-60^\circ\text{C}$ ).

### 2.1.5. Теплопроводность.

Теплопроводность — способность материала передавать тепло через свою толщину за счёт разницы температур на ограничивающих поверхностях.

Это свойство характеризуется коэффициентом теплопроводности  $\lambda$  ( $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ), величина которого позволяет судить о теплозащитных свойствах различных материалов. Теплопроводность связана с составом, структурой, текстурой материалов, плотностью, влажностью, температурой окружающей среды. Так, например, с увеличением пористости, теплопроводность будет снижаться, т.к. теплопроводность воздуха  $\lambda_{\text{возд}} = 0.023 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$  (при  $t = 20^\circ\text{C}$ ) всегда меньше теплопроводности твердого вещества, из которого состоит строительный материал.

Точное значение коэффициента теплопроводности для каждого материала определяется экспериментально, что в практических условиях не всегда удобно. Поэтому для материалов, находящихся в воздушно-сухих условиях и имеющих плотность в пределах  $2500\text{--}2700 \text{ кг}/\text{м}^3$ , коэффициент теплопроводности можно ориентировочно рассчитать по формуле В.П. Некрасова:

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16, \quad (2.16)$$

где  $d = \frac{\rho_c}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$  — безразмерная величина, характеризующая отношение средней плотности материала к плотности воды (при  $4^\circ\text{C}$ ).

Выполнение работы. Рассчитать коэффициент теплопроводности, пользуясь формулой (2.16).

Таблица 2.6.

Расчёт коэффициента теплопроводности по формуле В.П. Некрасова

Наименование материала	Средняя плотность $\rho_c$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$

По полученным данным построить график зависимости коэффициента теплопроводности от средней плотности материала.

## 2.2. Основные механические свойства строительных материалов

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться разрушающему или деформирующему воздействию внешних сил. К механическим свойствам относят прочность, упругость, пластичность, хрупкость, твердость, истираемость и др.

### **2.2.1. Прочность**

Прочность — свойство материала сопротивляться в определенных условиях внутренним напряжениям и деформациям, возникающим в материале под действием внешних факторов. Характеризуется пределом прочности (МПа), который соответствует максимальному напряжению, соответствующему нагрузке, вызывающей разрушение образца.

Показатели прочности материала, являются условными величинами, т.к. зависят от размеров, формы образца (рис.2.2), скорости его нагружения и других факторов. Методика определения прочности для каждого материала строго определяется нормативно-техническими документами.

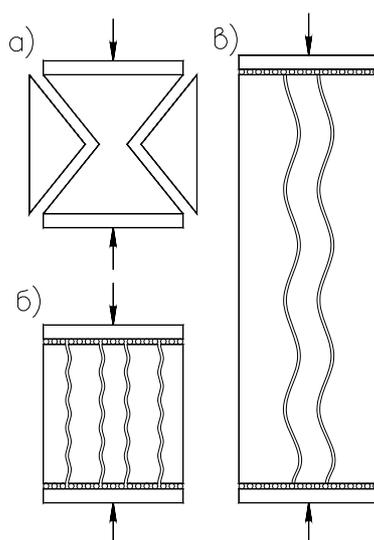


Рис. 2.2. Схема разрушения бетонных образцов.  
а) кубических; б) кубических, со смазанными опорными гранями;  
в) призматических.

Предел прочности при осевом сжатии:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (2.17)$$

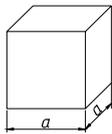
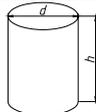
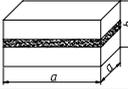
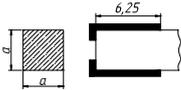
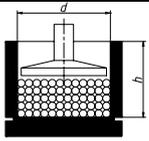
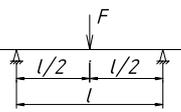
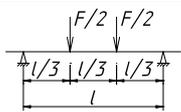
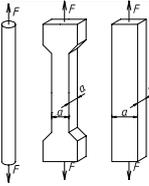
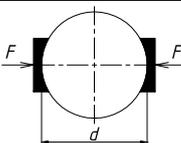
где  $F$  — разрушающая нагрузка, Н;

$A$  — площадь поперечного сечения образца,  $m^2$ .

Характерные образцы для определения прочности строительных материалов разрушающими методами приведены в табл. 2.7. Если существует необходимость определить прочность не разрушая образец, то используют другие методы: ультразвуковые, радиометрические, ударные и др.

Таблица 2.7

Схемы стандартных методов определения прочности

Образец	Эскиз	Расчётная формула	Материал	Размер стандартного образца, мм
1	2	3	4	5
<b>При сжатии</b>				
Куб		$R_{сж} = \frac{F}{a^2}$	бетон раствор природный камень	15×15×15 7,07×7,07×7,07 5×5×5 и др.
Цилиндр		$R_{сж} = \frac{4F}{\pi d^2}$	бетон природный камень	d=15, h=30 d=h=5,7,10,15
Призма		$R_n = \frac{F}{a^2}$	бетон древесина	a=10,15,20 h=40,60,80 a=2, h=3
Составной образец		$R_{сж} = \frac{F}{A}$	кирпич	a=12, b=12,3 h=14
Половина образца призмы, изготовленной из цементного раствора		$R_{сж} = \frac{F}{A}$	цемент	a=4 A=25 см <sup>2</sup>
Проба щебня (гравия) в цилиндре		$D_p = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%$	крупный заполнитель для бетона	d=15 h=15
<b>При изгибе</b>				
Призма, кирпич в натуре		$R_{изг} = \frac{3Fl}{2bh^2}$	цемент кирпич	4×4×16 12×6,5×2,5
Призма		$R_{изг} = \frac{Fl}{bh^2}$	бетон древесина	15×15×60 2×2×30
<b>При растяжении</b>				
Стержень, восьмёрка, призма		$R_p = \frac{4F}{\pi d^2}$ $R_p = \frac{F}{d^2}$	бетон сталь	5×5×50 10×10×80 d=1 l=5; l > 10d
Цилиндр		$R = \frac{2F}{\pi dl}$	бетон	15

Предел прочности при изгибе (см. табл. 2.7)

$$R_{\text{изг}} = \frac{M}{W}, \quad (2.18)$$

где  $M$  – изгибающий момент, Н/м;  
 $W$  – момент сопротивления, м<sup>3</sup>.

Предел прочности при осевом растяжении (см. табл.2.7)

$$R_{\text{изг}} = \frac{F}{A}, \quad (2.19)$$

где  $F$  — разрушающее усилие, Н;  
 $A$  — площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>.

Наряду со статической прочностью в необходимых случаях определяют динамическую прочность (ударную вязкость), характеризующую способность материала сопротивляться ударным нагрузкам, и усталостную прочность, характеризующую способность материала сопротивляться разрушению при повторных нагрузках.

Материалы и оборудование: гипсовые или растворные балочки в сухом и насыщенном водой состоянии размером 40×40×160 мм, линейка, прибор МИИ-100, пресс мощностью 5 (10) т.

Выполнение работы. Предел прочности образцов-балочек при изгибе определяют на машине МИИ-100. Образец устанавливают на опорные элементы прибора так, чтобы его плоскости, бывшие при изготовлении горизонтальными, находились в вертикальном положении. Затем в соответствии с инструкцией, прилагаемой к прибору, производят испытание образцов. При разрушении образца автоматически отключается электродвигатель, счетчик прибора останавливается, показывая предел прочности образца при изгибе (в кгс/см<sup>2</sup>). За результат испытаний принимают среднее арифметическое двух наибольших значений прочности, полученных для трёх образцов (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Прочность при изгибе испытанных образцов.

Материал образцов .....

Прибор .....

Показатель	Номер образцов		
	1	2	3
Предел прочности при изгибе насыщенных водой образцов, $R_{\text{изг}}^{\text{нас}}$ , МПа			
Средний предел прочности при изгибе насыщенных водой образцов, $R_{\text{изг}}^{\text{нас}}$ , МПа			
Предел прочности при изгибе образцов в сухом состоянии, $R_{\text{изг}}^{\text{сух}}$ , МПа			
Средний предел прочности при изгибе образцов в сухом состоянии, $R_{\text{изг}}^{\text{сух}}$ , МПа			

Половинки балок испытывают на сжатие, для чего применяют стальные пластинки размером 40×62,5 мм, площадью 25 см<sup>2</sup> (рис. 2.3).

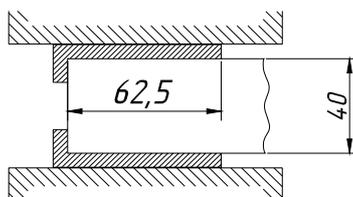


Рис. 2.3. Испытание половинок балочек на сжатие

Каждый образец помещают таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к стенкам формы, находились между двумя пластинками (рис. 2.3). Затем образец помещают в центре нижней плиты пресса и сжимают со скоростью  $2 \pm 0,5$  МПа/с. В момент разрушения образцов снимают отсчёт по манометру. Предел прочности при сжатии вычисляют по формуле (2.17).

Средний предел прочности при сжатии определяют как среднее арифметическое значение из четырёх наибольших результатов для шести образцов половинок балочек.

Таблица 2.9

Результаты испытания половинок-балочек на сжатие

Материал .....

Прибор .....

Показатель	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
Площадь сечения $A$ , см <sup>2</sup>						
Разрушающая нагрузка $F$ , кгс						
Предел прочности при сжатии отдельного образца $R_{сж}$ , МПа						
Средний предел прочности при сжатии $R_{сж}$ , МПа						

### 2.2.2. Водостойкость

Изменение физического состояния строительных материалов в значительной мере оказывает влияние на механические свойства. Для оценки способности материала сохранять свои прочностные свойства при увлажнении, используют коэффициент размягчения, который характеризует водостойкость материала:

$$k_{\text{разм}} = \frac{R_{сж}^{\text{нас}}}{R_{сж}^{\text{сух}}}, \quad (2.20)$$

где  $R_{сж}^{\text{нас}}$  — предел прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии, МПа;

$R_{сж}^{\text{сух}}$  — предел прочности при сжатии материала в сухом состоянии, МПа.

Коэффициент размягчения изменяется от 0 до 1. К водостойким относятся материалы с коэффициентом размягчения не менее 0.8. Такие материалы можно применять в условиях высокой влажности без специальных мер по их защите.

Материалы и оборудование: гипсовые или растворные балочки в сухом и насыщенном водой состоянии размером 40×40×160 мм, линейка, прибор МИИ-100, пресс мощностью 5 (10) т.

Выполнение работы. По результатам испытаний балочек при изгибе и сжатии, пользуясь формулой (2.20), вычислить коэффициент размягчения, дать заключение о водостойкости материала и возможности его использования во влажных условиях.

### 2.2.3. Истираемость

Истираемость — свойство материала постепенно разрушаться тонкими слоями под действием истирающих усилий; оценивается потерей первоначальной массы образца, отнесённой к единице его площади или уменьшением толщины материала:

$$И = \frac{m - m_1}{A}, \quad (2.21)$$

где  $m$  — масса образца до испытания, г;  
 $m_1$  — масса образца после испытания, г;  
 $A$  — площадь истирания,  $\text{см}^2$ .

Истираемость материала необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации дорожных покрытий, тротуаров и др.

Материалы, имеющие небольшую истираемость, являются более износостойкими.

Истираемость строительных материалов определяют специальными приборами, конструкция которых зависит от вида материала. Так, для определения истираемости природных и искусственных каменных материалов используют установку типа «круг истирания», например ЛКИ-2 или ЛКИ-3 (рис.2.4).

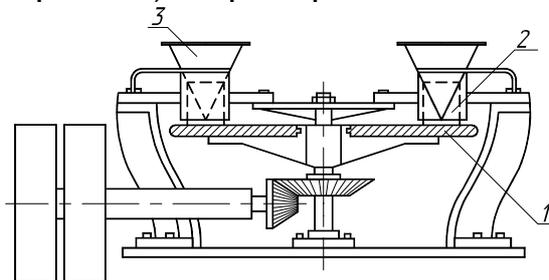


Рис. 2.4. Круг истирания

- 1 – чугунный диск; 2 – образец материала;  
3 – воронка для абразивного материала.

Предварительно подготовленные образцы кубической или цилиндрической формы выдерживают не менее 2-х суток перед испытанием в помещении лаборатории, затем взвешивают и определяют площадь истираемой грани. На истирающий диск высыпают абразивный материал (песок, шлифовальное зерно) и устанавливают образцы, прикладывая к ним нагрузку, затем включают привод круга.

Через определенное количество оборотов прибор останавливают, заменяют абразивный материал и снова включают привод круга. Эти операции повторяют определенное количество раз, что составляет один цикл испытаний. После каждого цикла образцы поворачивают на  $90^\circ$  относительно их вертикальной оси. После определенного для каждого материала нормированного количества циклов образцы извлекают, протирают сухой тканью и взвешивают.

Истираемость определяют по формуле (2.21) с погрешностью до  $0,1 \text{ г/см}^2$ .

### 3. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Главным сырьём для получения строительных материалов являются горные породы и минералы. Горные породы — природные агрегаты минералов более или менее постоянного состава и строения, являющиеся продуктом геологических процессов и образующие в земной коре самостоятельные тела. Свойства горной породы во многом определяются свойствами породообразующих минералов. Горные породы состоят из множества химических соединений и элементов, преобладающими из которых являются:  $SiO_2$  ( $\approx 59\%$ ),  $Al_2O_3$  ( $\approx 15\%$ ),  $CaO$  ( $\approx 5\%$ ),  $Na_2O$  ( $\approx 4\%$ ),  $Fe_2O_3$  ( $\approx 3,8\%$ ),  $MgO$  ( $\approx 3,5\%$ ).

Минералы — это однородные по химическому составу и физическим свойствам природные тела. В природе более 7000 минералов и их разновидностей, но лишь около 50 минералов встречаются наиболее часто, входя в состав главных горных пород. Эти минералы называют породообразующими. В зависимости от химического состава минералы делят на классы: силикаты, карбонаты, оксиды, сульфаты, сульфиды, самородные элементы и др.

• Силикаты — наиболее многочисленная группа минералов. В зависимости от кристаллической структуры силикаты разделяют на группы:

Полевые шпаты — каркасные алюмосиликаты калия (ортоклаз  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ), натрия и кальция (плаггиоклазы — альбит  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$  и анортит  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ). Неустойчивы к химическому выветриванию на поверхности земли, в результате которого образуют глинистые соединения. Полевые шпаты входят в состав гранитов, сиенитов, гнейсов и др.

Ортоклаз ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ) — характерной особенностью является совершенная спайность в двух направлениях, плотность 2500-2700 кг/м<sup>3</sup>, стеклянный блеск, светлая окраска от белого, желтоватого, розоватого до красного.

Слюды — алюмосиликатные минералы сложного химического состава, слоистого, листового или чешуйчатого строения, характерной особенностью которых является способность легко расщепляться на очень тонкие пластинки. Слюды входят в состав большинства изверженных и некоторых метаморфических пород.

Мусковит — калиевая слюда  $KAl_2(OH)_2[AlSi_3O_{10}]$  имеет невысокую твердость ( $\approx 2$ ), плотность 2800...3100 кг/м<sup>3</sup>, перламутровый блеск, цвет — белый, серебристый, бесцветный, дымчатый.

Биотит — железисто-магнезиальная слюда  $K(MgFe)_3[Si_3AlO_{10}][OH, F]_2$  бурого, темно-зеленого или чёрного цвета, твердость 2...3, плотность 2800-3200 кг/м<sup>3</sup>.

Глинистые минералы — образовались в результате выветривания алюмосиликатных минералов, имеют слоистое, листовое или чешуйчатое строение, входят в состав глин, суглинков, супесей.

Каолинит ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) — в природе встречается в виде рыхлых чешуйчатых или плотных тонкозернистых агрегатов белого цвета с желтоватым или зеленоватым оттенком в составе каолинитов и полиминеральных глин. Материал легко рассыпается при нажатии (твердость  $\approx 1$ ), имеет землистый излом, жирный на ощупь. Плотность около 2600 кг/м<sup>3</sup>.

Железисто-магнезиальные силикаты — представители этой группы пироксены (цепные силикаты), амфиболы (ленточные силикаты), оливин (островные силикаты) отличаются сложным химическим составом, боль-

шой плотностью, прочностью, вязкостью, а также темным цветом, из-за которого их ещё называют темноокрашенными минералами.

*Авгит*  $CaO \cdot 2(Mg, F)O \cdot (Al, Fe)_2O_3 \cdot 3SiO_2$  — относится к пироксенам. Цвет от темно-зеленого до чёрного, блеск стеклянный, твердость 5...6, плотность 3200-3600 кг/м<sup>3</sup>, входит в состав изверженных пород.

*Роговая обманка*  $Ca_3Na_2(Mg, Fe)_8 \cdot (Al, Fe)_4 \cdot Si_{14}O_{44}(OH)_4$  — разновидность амфиболов тёмно-зеленого, бурого или чёрного цвета со стеклянным блеском. Твёрдость 5.5...6.5, плотность 3100-3400 кг/м<sup>3</sup>, входит в состав изверженных пород (сиенит, габбро).

*Хризотил-асбест*  $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  — вторичный железисто-магнезиальный силикат, образовавшийся при выветривании оливина. Структура кристаллическая, тонковолокнистая. Цвет от желтовато-зеленого, оливкового до тёмного буро-зеленого, в распушенном состоянии — белый, желтоватый. Плотность 3000-3500 кг/м<sup>3</sup>. Входит в состав изверженных пород.

- **Карбонаты** — это минералы, представляющие собой соли угольной кислоты (в основном карбонаты *Ca* и *Mg*), являются породообразующими для осадочных и метаморфических пород.

*Кальцит*  $CaCO_3$  — кристаллический минерал бесцветного или белого с оттенками цвета, совершенной спайности по трем направлениям, плотностью 2600-2800 кг/м<sup>3</sup>. При ударе распадается на ромбические кристаллы. Плохо растворим в воде, но растворяется с бурным вскипанием в 10% *HCl*. Встречается в известняках, мраморах и др. карбонатных породах.

*Доломит*  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$  — минерал белого или серовато-желтого цвета, плотность 2800 кг/м<sup>3</sup>, твердость 3.5...4. Образует породу того же названия и входит в состав известняков.

- **Оксиды и гидроксиды** – минералы, представляющие собой соединения элементов с кислородом или гидроксильной группой (кварц  $SiO_2$ , корунд  $Al_2O_3$ , гематит  $Fe_2O_3$  и др.)

*Кварц*  $SiO_2$  — наиболее распространённый минерал этой группы, входит в изверженные (гранит), осадочные (кварцевые пески), метаморфические породы (кварцит). Разновидности кварца: горный хрусталь, аметист, халцедон, кремень, опал, агат и др. Кварц является одним из наиболее прочных минералов. При обычных условиях кварц химически инертен, поэтому устойчив к выветриванию. Плотность 2650 кг/м<sup>3</sup>, спайность отсутствует, излом раковистый. В зависимости от примеси и условий образования кварц может быть прозрачным или матовым, бесцветным, белым, серым, фиолетовым, черным (морион).

В природе часто встречается гидратированный аморфный кремнезем — опал ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ), который, в отличие от кварца, обладает большой реакционной способностью.

- **Сульфаты** — в этот класс входит более 260 минералов, однако среди них мало соединений достаточно устойчивых в земной коре. Представители этого класса характеризуются невысокой твердостью и прочностью, высокой спайностью, светлой окраской. Сульфаты (гипс, ангидрит, барит, мирабилит и др.) входят в состав осадочных пород.

*Гипс* ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) — кристаллический минерал с плотностью 2300 кг/м<sup>3</sup>, белого цвета, твердость 1.5...2, спайность совершенная, но в зерни-

стых и волокнистых массах не видна, растворим в воде. При обезвоживании гипс переходит в ангидрит.

*Ангидрит*  $CaSO_4$  — кристаллический минерал серого, белого или розового цвета, более твердый, чем гипс (твердость 3...3.5). При длительном контакте с водой ангидрит переходит в гипс, увеличиваясь в объеме приблизительно на 30%.

### ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Известно более 1000 видов различных горных пород. Горная порода может состоять из одного минерала (мономинеральная) или из нескольких минералов различных по химическому составу и свойствам (полиминеральная). Однако, на физико-механические, технологические и декоративные свойства горных пород оказывает влияние не только химический и минералогический состав, но также их структура (строение) и текстура (сложение). Породы с одинаковым минеральным составом, но имеющие разную структуру (например, гранит и кварцевый порфир), обладают разными свойствами.

**Структура** породы определяется размерами и формой кристаллов или зерен, их сочетанием и размещением между собой.

**Текстура** (сложение) — характеризует относительное расположение и распределение породообразующих минералов, пор и микротрещин в породе.

Все горные породы по происхождению (генезису) делятся на изверженные, осадочные и метаморфические (рис.3.1).



Рис. 3.1. Генетическая классификация горных пород

**Изверженные (магматические) породы** — образовались в результате застывания магмы на поверхности земли (излившиеся или эффузивные породы) или в толще земной коры (глубинные или интрузивные породы).

**Гранит** (от латинского «гранум» — зерно) — наиболее распространенная изверженная порода, представляет собой массивную, равномерно зернисто-кристаллическую плотную породу. Состоит из кварца (20...40%), полевого шпата, ортоклаза (реже плагиоклаза), слюды, иногда роговой обманки и авгита. Средняя плотность гранитов  $2600 \text{ кг/м}^3 \dots 2800 \text{ кг/м}^3$ , прочность  $100 \dots 250 \text{ МПа}$ . Цвет гранита серый или красный с оттенками. Граниты применяют для производства щебня, облицовочных материалов и др.

**Габбро** — горная порода, состоящая в основном из плагиоклаза (около 50%) и пироксена; реже в состав входят роговая обманка, оливин и биотит. Структура равномерно крупнокристаллическая, цвет серо-, коричнево- или темно-зелёный, средняя плотность  $2800 \text{--} 3100 \text{ кг/м}^3$ , прочность при сжатии  $200 \dots 300 \text{ МПа}$ . Используется в основном как облицовочный и декоративный материал.

**Базальт** — излившийся аналог габбро обычно скрытокристаллической структуры. Средняя плотность  $2800 \dots 3300 \text{ кг/м}^3$ , прочность при сжатии  $200 \dots 500 \text{ МПа}$ . Цвет тёмный с сероватым, тусклым отливом. Применяют как сырьё для каменного литья, для изготовления ваты, дорожных покрытий (шашка, брусчатка), как щебень и др.

**Вулканический туф** — образуется при цементации и уплотнении вулканических пеплов, пемзы и др. Средняя плотность  $800 \dots 1600 \text{ кг/м}^3$ , прочность при сжатии  $5 \dots 20 \text{ МПа}$  (у плотных туфов до  $50 \text{ МПа}$ ). Используются как стеновой материал, заполнитель для легких бетонов, минеральная добавка.

**Осадочные породы** образовались из изверженных в результате их разрушения под действием ветра, температуры, воды, жизнедеятельности животных и растительных организмов.

**Песчаник** — порода, состоящая из мелких зерен минералов, связанных природным цементом. Обычно песчаники состоят из зерен кварца и значительно реже — из полевого шпата или из смеси кварца, полевого шпата, слюды и др. В зависимости от вида природного цементирующего вещества и примесей различают глинистый, кремнистый, известковый, железистый, гипсовый, битуминозный и др. песчаники. Прочность при сжатии таких песчаников от  $50$  до  $200 \text{ МПа}$ , средняя плотность  $2400 \dots 2600 \text{ кг/м}^3$ , цвет светлый серый с желтоватым или красноватым оттенком. Песчаники применяют в виде бута, щебня, иногда штучного камня.

**Известняк** — горная порода, состоящая в основном из кальцита в виде остатков известняковых раковин и панцирей различных организмов, и лишь небольшая часть известняков образовалась в результате отложения углекислого кальция источников (химические осадки).

В зависимости от состава различают известняки доломитизированные (с примесью магнезита), глинистые (мергелистые), битуминозные, кремнистые и др.

В зависимости от структуры и текстуры известняки бывают: плотные, кристаллические, пористые, ракушечные, туфовые, мраморовидные, землистые (мел) и др. Цвет известняков — белый, серый, желтоватый, красноватый и др.

Свойства известняков зависят от их состава, структуры и текстуры. Плотные аморфно- и скрытокристаллические известняки отличаются высокой прочностью (90...150 МПа). Средняя плотность 200...2600 кг/м<sup>3</sup>. Применяются для получения бутового камня, щебня, штучных блоков, минерального порошка и минеральных вяжущих.

Известняки-ракушечники состоят из ракушек разных моллюсков, цементированных природным цементом, содержащим примеси. Ракушечники характеризуются высокой пористостью, низкой средней плотностью 800...1800 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводностью, малой прочностью (около 15 МПа); легко обрабатываются (подаются распиловке), поэтому применяются в основном в виде стеновых блоков.

Трепел — состоит из опала, реже халцедона. Пористая рыхлая порода органогенного происхождения белого или серого цвета, со средней плотностью 600...1200 кг/м<sup>3</sup>, прочностью до 10 МПа, плохо проводит звук и тепло, используется как минеральная добавка к вяжущим, а также для производства теплоизоляционных материалов.

Гипс — мономинеральная порода. Может содержать небольшое количество примесей (глина, песок, органические вещества). Прочность при сжатии 15...80 МПа, средняя плотность 2000...2300 кг/см<sup>3</sup>. Применяется для производства вяжущих и изделий на их основе (гипсовых и гипсобетонных), применяемых, как звукоизоляционный и стеновой материал, а также для внутренней отделки зданий.

**Метаморфические породы** образовались из изверженных или осадочных пород под воздействием геологических факторов (высокой температуры, давления, а иногда и химических процессов). Метаморфизм выражается чаще всего в изменении структуры и текстуры исходной породы. Видоизменение, как правило, ведет к ухудшению свойств изверженных и улучшению свойств осадочных пород.

Мрамор — зернисто-кристаллическая порода, образовавшаяся в результате перекристаллизации известняков и доломитов. Состоит из минерала кальцита (кальциевый мрамор) и доломита (доломитовый). Цвет чистого мрамора — белый, но в зависимости от примесей может быть розовый, красный, серый, чёрный. Средняя плотность 2600...2800 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии 100...300 МПа.

Мраморы не очень хорошо сопротивляются выветриванию.

Применяют мрамор для внутренней облицовки стен, полов. Отходы используют для получения мраморной крошки, которую применяют в декоративных цементах и асфальтовых бетонах.

Кварцит — горная порода, образующаяся путём метаморфизации кварцевых песков и песчаников. Состоит из мелких зерен кварца, сросшихся так, что цементирующее кремнистое вещество слилось с основными зернами и неразлично под микроскопом. Цвет кварцита в зависимости от примесей может быть белым, красным, фиолетовым, темно-вишневым. Кварцит характеризуется большой плотностью (около 2700 кг/м<sup>3</sup>), прочностью 200...450 МПа, стойкостью к выветриванию. Применяют кварцит для наружной облицовки повышенной стойкости, в качестве опорных камней под фермы мостов, в виде бута, а также для изготовления огнеупорных (динасовых) изделий.

При разведке месторождений для определения качества горной породы и пригодности к использованию в строительстве её тщательно изучают сначала в полевых условиях, а затем исследуют в лаборатории. Для лабораторных испытаний отбирают пробы с учетом однородности горной породы в месторождении и с учётом того, что отобранного материала должно быть достаточно для определения физических, механических, технологических и др. свойств. Испытание природных каменных материалов начинают с описания внешних признаков и составления их петрографической характеристики. Для этих целей отбирают крупные куски породы, которые наиболее полно отражают характерные особенности исследуемой породы. При составлении петрографической характеристики пользуются молотком, стальной иглой, лупой, шкалой твердости, линейкой с миллиметровыми делениями или штангенциркулем, 10%-ным раствором соляной кислоты. При описании фиксируют следующие основные характеристики:

- 1) размер и форму образца; для этого отобранный кусок породы измеряют по трём направлениям; а затем определяют его форму (правильная, неправильная, кубовидная, ромбическая, параллелепипедная, шаровидная и др.). Это позволяет определить возможность получения того или иного вида каменного материала;
- 2) цвет горных пород зависит от минералогического состава, примесей и степени выветренности. Природные каменные материалы могут быть светлыми и темноокрашенными, белыми (почти бесцветными), от жёлтого до красного цвета, зелеными, многоцветными и др. При описании цвета указывают окраску пятен, жилок и т.д.;
- 3) блеск возникает при отражении световых лучей от поверхности минералов, слагающих горную породу. Вид блеска: яркий (стеклянный), перламутровый (отливает радужными цветами), жирный (тусклый), матовый (без блеска). Блеск зависит от показателя преломления светового луча и характера отражающей поверхности. В природе преобладают минералы со стеклянным блеском. Блеск характеризует декоративные свойства минералов и степень выветренности породы;
- 4) минералогический состав горной породы указывает вид главных породообразующих минералов, величину их включений, равномерность распределения, вид цементирующего вещества и его расположение;
- 5) структура горной породы зависит от условий её формирования. Определяется осмотром свежего излома. Различают структуру: кристаллическую, порфиоровую, стекловатую, зернистую, аморфную и др. (рис. 3.2).

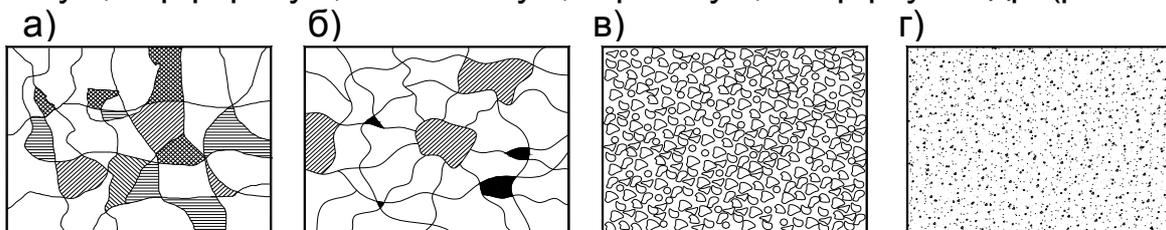


Рис. 3.2. Виды структур горных пород:  
а) кристаллическая, б) порфиоровая, в) зернистая,  
г) аморфная и скрытокристаллическая.

Кристаллически-зернистая структура характеризуется равномерным расположением в породе минеральных зерен с приблизительно одинаковым размером для основных минералов. Порфировая структура отличается неравномерной зернистостью одного минерала (или одних и тех же минералов).

Породы с однородной мелкозернистой структурой отличаются более высокой прочностью, стойкостью к выветриванию, обрабатываемостью, по сравнению с породами крупнозернистой и порфирой структуры. Стекловатая структура не имеет явных кристаллических образований, такая структура указывает на повышенную хрупкость породы;

- б) текстура — отражает перемещение и преобразование вещества в процессе формирования горной породы. Текстура может быть: плотная, сланцеватая, пористая, ячеистая и др. (рис. 3.3).

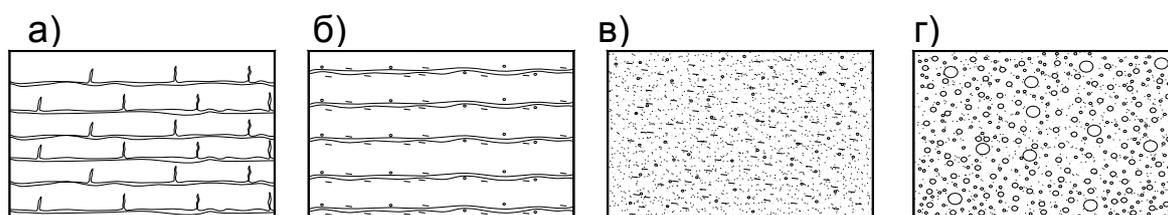


Рис. 3.3. Типы текстур горных пород:

- а) сланцеватая, б) слоистая (полосчатая), в) землистая, г) пористая.

Наиболее прочными и стойкими являются породы с плотной текстурой. С увеличением пористости снижается прочность, стойкость к выветриванию, теплопроводность. Сланцеватые породы анизотропны, при ударе они раскалываются в направлении сланцеватости. При определении текстуры учитывают наличие **трещин** и **включений**, их размер и расположение. **Звук при ударе молотком** (звонкий, глухой, дребезжащий) зависит от сложения, влажности и скрытой трещиноватости;

- 7) спайность — это способность минералов раскалываться по определенным направлениям с образованием гладких поверхностей — **плоскостей** спайности. Минералы имеют различную спайность:
- весьма совершенная – легко расщепляются на отдельные листочки;
  - совершенная — раскалываются по определенным ровным плоскостям;
  - несовершенная — плоскости спайности выражены слабо;
  - отсутствует — раскалываются по неопределённым направлениям, поверхность излома неровная.

Аморфные материалы спайностью не обладают. Спайность снижает прочность и стойкость минерала, а также затрудняет его обработку;

- 8) излом — характеризует поверхность раскола, прошедшего не по направлениям спайности. Поверхность раскола может быть ровной, неровной, волнистой, раковистой, шарообразной; характер раскола — гладкий, шероховатый, землистый и др. **Ребра отдельности** могут быть тупые, острые, режущие и др. Излом характеризует обрабатываемость материала, его сцепление с вяжущим;

- 9) твёрдость — способность материала сопротивляться проникновению в него другого материала. Оценивается по шкале Мооса, которая состоит из десяти минералов (табл. 3.1), расположенных в порядке возрастания твердости: каждый следующий по порядку минерал оставляет след на предыдущем, а сам им не прочерчивается. По твердости минерала можно косвенно судить о его механических свойствах.

Таблица 3.1

Шкала твердости минерала

№ пп	Минерал	Характеристика твердости
1.	Тальк	Легко чертится ногтем
2.	Гипс	Чертится ногтем
3.	Кальцит	Чертится ножом
4.	Плавиновый шпат	С трудом чертится ножом
5.	Апатит	Царапается ножом
6.	Ортоклаз	Царапает стекло
7.	Кварц	Чертит стекло
8.	Топаз	~ // ~
9.	Корунд	~ // ~
10.	Алмаз	~ // ~

- 10) присутствие карбонатов в каменных материалах определяется воздействием на них 10% раствора соляной кислоты, которая «вскипает» на поверхности образцов пород, содержащих карбонаты.

Кроме составления петрографической характеристики, для каменных материалов определяют следующие основные свойства;

- истинную плотность;
- среднюю плотность;
- насыпную плотность (для рыхлых пород);
- пористость и пустотность;
- водопоглощение;
- морозостойкость;
- прочность на сжатие (для щебня ещё и дробимость);
- водостойкость;
- истираемость и износ и др.

Цель работы — составление краткой петрографической характеристики основных породообразующих минералов и горных пород.

Материалы и оборудование: коллекция минералов и горных пород; шкала твердости, линейка с миллиметровыми делениями, стальная игла, лупа, 10% раствор  $HCl$ .

Выполнение работы. Каждый образец измеряется, внимательно изучается и составляется петрографическая характеристика.

Таблица 3.2

Характеристика основных породообразующих минералов

№ пп	Минерал	Группа	Химический состав	цвет	блеск	Структура	Спайность	Истинная плотность, $кг/м^3$	Твердость	Условие нахождения в природе

Таблица 3.3

## Характеристика основных горных пород

№ пп	Горная порода	Группа	Подгруппа	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Применение

#### 4. ИСПЫТАНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

**Керамическими** называют искусственные каменные материалы и изделия, изготавливаемые из минерального сырья и добавок путём формования и обжига. Основным сырьём являются глины (греч. «keramos» — глина) осадочные породы, образовавшиеся в результате выветривания полевошпатных горных пород. Глины состоят из глинообразующих минералов (каолинита  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ , монтмориллонита  $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$ , гидрослюда  $K_2O \cdot MgO \cdot 4Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) и примесей, которые влияют на свойства глин. Для регулирования свойств керамической массы в глину вводят различные добавки: отошающие, выгорающие, плавни и др. Свежеотформованные изделия называют **сырцом**, а камневидный материал, из которого после обжига состоят керамические изделия — **черепком**.

**Кирпич** — это искусственный каменный материал правильной формы (в виде прямоугольного параллелепипеда). Получают керамический кирпич из легкоплавких глин, диатомитов, трепелов с добавками или без них. Кирпич имеет размеры, мм:

- одинарный 250×120×65
- утолщённый 250×120×88
- модульный 288×138×65 (88)

Для граней кирпича приняты следующие названия: нижняя или верхняя грань — **постель**; большая боковая грань — **ложок**; меньшая боковая грань — **тычок** (рис. 4.1).

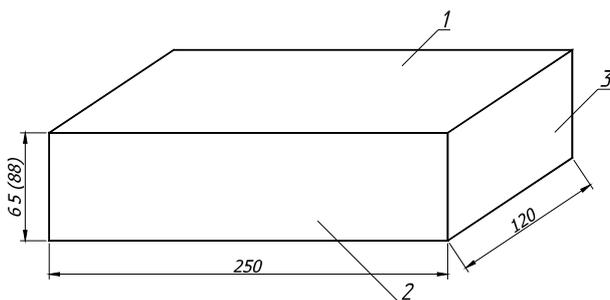


Рис. 4.1. Керамический кирпич.  
1-постель; 2-ложок; 3-тычок.

Кирпич может быть пустотелым или полнотелым.

**Полнотелым** называется кирпич без пустот или с технологическими пустотами объёмом до 13% от объёма кирпича.

**Пустотелым** называется кирпич с объёмом пустот более 13%. Форма, размер, количество и расположение пустот могут различными.

В зависимости от способа производства различают кирпич пластического формования и полусухого прессования. Их внешний вид отличается:

кирпич пластического формования имеет более пористую и шершавую поверхность со следами формования и разрезания; кирпич полусухого прессования имеет более плотный черепок, правильную форму и размеры. Для уменьшения массы кирпич полусухого прессования выпускают с пустотами (обычно конической формы).

**Лицевой** кирпич — вид керамического кирпича, применяемый для кладки и одновременной облицовки стен зданий и сооружений (т.е. выполняет конструктивные и декоративные функции). Лицевой кирпич отличается от обычного большей точностью размеров, высоким качеством лицевых поверхностей, однородностью цвета. Выпускают такой кирпич или из высококачественных глин, или из обычного сырья, но с улучшенными в эстетическом отношении лицевыми гранями.

Образцы для испытания керамического кирпича отбирают методом случайного отбора в количестве 0,5% от партии кирпича.

#### **4.1. Оценка качества кирпича по внешнему виду, форме и размерам.**

Внешним осмотром устанавливается качество обжига, наличие искривлений, отбитостей, трещин и известковых включений.

Нормально обожженный кирпич должен быть одинакового по всему объёму цвета и при ударе по нему молотком издавать ясный звук. Если кирпич недожжён, то имеет более светлый цвет по сравнению с эталоном, при ударе молотком издаёт глухой звук. Такой кирпич имеет пониженную прочность и морозостойкость. Пережжённный кирпич (железняк) имеет более тёмный цвет, как правило, искривлённую форму и оплавления; звук при ударе молотком чаще всего дребезжащий. Такой кирпич характеризуется очень плотной структурой, повышенной прочностью и теплопроводностью. Недожог и пережог кирпича не допускается.

Крупные включения в виде камешков или кусочков извести не допускаются. Особенно опасны известковые включения («дутики»), оставшиеся в результате разложения частиц известняка при обжиге. При взаимодействии с водой они гасятся с увеличением объёма, что приводит к разрушению кирпича.

Отклонение размеров проверяют с помощью металлической линейки с точностью до 1 мм. Определение размера производят в 3-х местах – по ребрам и в середине грани, принимая окончательно среднее арифметическое трех результатов. Допускаемые отклонения составляют: по длине  $\pm 5$  мм, по ширине  $\pm 4$  мм, по толщине  $\pm 3$  мм.

Величину искривлений граней и ребер кирпича определяют с помощью металлической линейки и угольника (рис.4.2.).

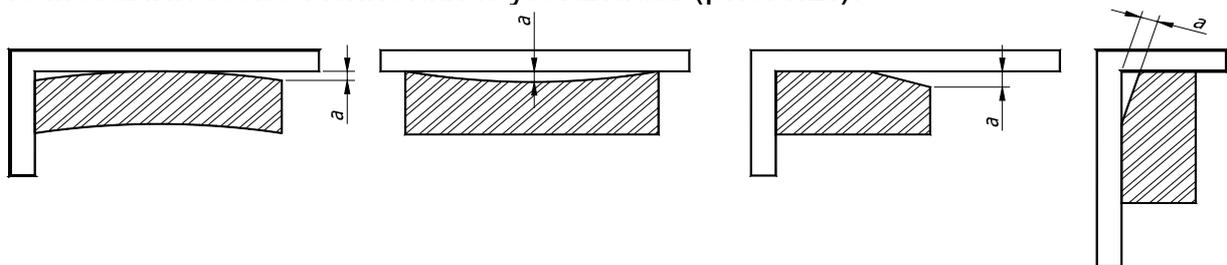


Рис. 4.2. Измерение искривлений граней и ребер кирпича; а - измеряемая величина

Отклонения от прямолинейности ребер и граней кирпича по постели должны быть не более 3 мм, по ложку – 4 мм. Допускается не более двух отбитостей углов глубиной от 10 до 15 мм и не более двух повреждений и притупленностей ребер глубиной более 5мм и длиной по ребру 10-15 мм. Допускается не более одной сквозной трещины на ложковой и тычковой гранях протяженностью до 30 мм по постели полнотелого кирпича или не далее чем до первого ряда пустот для пустотного кирпича. Если трещин больше или глубина трещины превышает допустимое значение, то такой кирпич относят к половняку.

**Материалы и оборудование:** образцы кирпича, молоток, мерная металлическая линейка, угольник, эталон кирпича нормального обжига.

**Выполнение работы.** Образцы кирпича внимательно осматриваются, их цвет и звук при ударе молотком сравнивают с эталоном. Проверяют наличие известковых включений. Закончив осмотр, с помощью металлической линейки и угольника измеряют линейные размеры и повреждения. Результаты испытаний заносят в таблицу и дают заключение о качестве керамического кирпича.

Таблица 4.1.

Результаты осмотра керамического кирпича

Цвет кирпича.....

Показатель	Отклонения от размеров и дефекты внешнего вида (СТБ 1160-99)	Данные внешнего осмотра и обмера образца
<p>1. Отклонения от размеров, мм по длине по ширине по толщине</p> <p>2. Отклонения от прямолинейности ребер и граней кирпича, мм по постели по ложку</p> <p>3. Отбитости углов глубиной от 10 до 15мм; шт.</p> <p>4. Отбитости и притупленности ребер не достигающие до пустот, глубиной более 5мм, длиной по ребру от 10 до 15мм, шт.</p> <p>5. Трещины протяженностью по постели полнотелого кирпича до 30мм, пустотелого кирпича не более, чем до первого ряда пустот, глубиной на всю толщину изделия, шт. на ложковых гранях на тычковых гранях</p>		

Заключение:

## 4.2. Определение средней плотности и водопоглощения

По средней плотности керамический кирпич и камни подразделяются на следующие группы:

- эффективные со средней плотностью до 1400 кг/м<sup>3</sup> (для кирпича) и 1450 кг/м<sup>3</sup> (для камней);
- условно-эффективные со средней плотностью от 1400 кг/м<sup>3</sup> (для кирпича), 1450 кг/м<sup>3</sup> (для камней) и до 1600 кг/м<sup>3</sup>;
- обыкновенный кирпич со средней плотностью выше 1600 кг/м<sup>3</sup>.

С понижением средней плотности снижается и коэффициент теплопроводности, что позволяет уменьшить толщину стен.

На значение средней плотности, теплопроводности, прочности и некоторых других физико-механических свойств материала влияет его водопоглощение.

Водопоглощение для полнотелого кирпича должно быть для марок до 150 не менее 8%, а для полнотелого кирпича более высоких марок и пустотных изделий – не менее 6%.

Материалы и оборудование: образцы кирпичей в сухом и водонасыщенном состоянии, металлическая линейка, циферблатные весы, сосуд с водой, ткань.

Выполнение работы. Среднюю плотность определяют не менее чем на трёх образцах кирпича, предварительно высушенных до постоянной массы (п. 2.1.1) при температуре 105-110°С, и охлажденных до комнатной температуры. Образцы должны соответствовать нормативным требованиям по внешнему виду, форме и размерам. Подготовленные образцы взвешивают с точностью до 1 г, затем измеряют длину, ширину и толщину (согласно методике п. 2.1.1). Объем образцов определяют умножением геометрических размеров.

Среднюю плотность отдельного образца  $\rho_c$  в кг/м<sup>3</sup> вычисляют по формуле:

$$\rho_c = \frac{m_{\text{сух}}}{V} \cdot 1000, \quad (4.1)$$

где  $m_{\text{сух}}$  – масса образца, высушенного до постоянной массы, г;  
 $V$  – объем образца, см<sup>3</sup>.

Среднюю плотность кирпича вычисляют как среднее арифметическое результатов испытания трёх образцов с погрешностью до 10 кг/м<sup>3</sup>.

Водопоглощение определяют не менее чем на трех образцах, высушенных до постоянной массы. Подготовленные образцы взвешивают с точностью до 1 г. Затем образцы-кирпичи укладывают тычком на дно сосуда, который заполняют водой так, чтобы уровень воды был выше верха образцов на 2...10 см. Установка образцов производится в один ряд, с зазорами между образцами не менее 2 см, температура воды должна быть 20±5°С. В воде образцы выдерживают 48±1 час, затем их вынимают, быстро обтирают влажной тканью и взвешивают с точностью до 1 г. Массу воды, вытекшую на чашу весов, включают в массу насыщенных водой образцов.

Водопоглощение кирпича по массе (в процентах) вычисляют по формуле:

$$W_m = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

где  $m_{\text{нас}}$  – масса водонасыщенного образца, г.

Значение водопоглощения кирпича определяют как среднее арифметическое результатов испытаний всех образцов, рассчитанное с точностью до 1%.

Ускоренно водопоглощение можно определить, насыщая образцы водой под вакуумом или в кипящей воде. Взвешивание образцов и расчёт водопоглощения производится так же, как при обычном испытании. Если же нет никакого оборудования, то приблизительно водопоглощение можно определить, капая воду на поверхность сухого материала. При водопоглощении до 3% капля практически не впитывается, при водопоглощении от 5 до 8% капля впитывается частично, при водопоглощении более 10% капля воды быстро впитывается материалом.

Таблица 4.2

Определение средней плотности и водопоглощения кирпича

Показатель	Номер образцов		
	1	2	3
Масса образца, высушенного до постоянной массы $m_{\text{сух}}$ , г			
Масса образца, насыщенного водой $m_{\text{нас}}$ , г			
Объём образца, $\text{см}^3$			
Средняя плотность отдельного образца $\rho_c$ , $\text{кг/м}^3$			
Средняя плотность кирпича $\rho_c$ , $\text{кг/м}^3$			
Водопоглощение по массе отдельного образца $W_m$ , %			
Водопоглощение по массе кирпича $W_m$ , %			

На основании полученных при испытании результатов требуется дать заключение о группе кирпича по средней плотности и соответствии значения водопоглощения нормативному; рассчитать водопоглощение по объёму и коэффициент насыщения пор по формулам:

$$W_v = W_m \cdot d, \quad (4.3)$$

где  $W_v$  — водопоглощение материала по объёму, %;

$d$  — удельная плотность материала, выражается по отношению к плотности воды, безразмерная величина.

$$k_n = \frac{W}{\Pi}, \quad (4.4)$$

где  $k_n$  — коэффициент насыщения пор, изменяется от 0 (все поры в материале замкнуты) до 1 (все поры в материале открыты), безразмерная величина

$\Pi$  — пористость материала, %.

**Заключение:**

### 4.3. Определение прочности керамического кирпича

Марку керамического кирпича определяют по результатам испытаний образцов на прочность при сжатии и изгибе (ГОСТ 8462-85, СТБ 1217-2000).

Испытания производят на сухих образцах, которые по наличию дефектов и внешнему виду удовлетворяют требованиям стандарта.

Предел прочности при сжатии кирпича определяют на образцах из двух целых кирпичей или из двух половинок. Кирпич делят на половинки раскалыванием или распиливают ножовкой или дисковой пилой. Половинки кирпича укладывают друг на друга так, чтобы поверхности распила были направлены в противоположные стороны. Для испытания допускается применять образцы из половинок, оставшиеся после испытания кирпича на изгиб. Так как опорная грань у кирпича пластического формования имеет отклонения от плоскости, то при подготовке образцов к испытанию их опорные поверхности выравнивают, а половинки (или целые кирпичи) соединяют цементно-песчаным раствором. Состав раствора 1:1 (цемент марки 400; песок крупностью не более 1.25 мм), В/Ц = 0.4 ...0.42.

Изготовление образцов производят в следующем порядке: кирпичи или половинки погружают в воду на 1 минуту. Затем на горизонтальную пластину (металлическую или стеклянную) укладывают лист смоченной бумаги, слой раствора толщиной 3...5 мм, первый кирпич (или половинку), опять слой раствора 3...5 мм, второй кирпич (половинку), ещё слой раствора 3...5 мм, лист бумаги и слегка прижимают стеклом. Излишки раствора срезают, края выравнивают ножом. Изготовленные образцы должны иметь взаимно параллельные опорные поверхности и по форме напоминать куб. Чтобы раствор набрал прочность, изготовленные образцы выдерживают в течение 3 суток в лаборатории при температуре  $20 \pm 5$  °С и относительной влажности воздуха 60...80%.

Допускается выравнивать опорные поверхности кирпича шлифованием, гипсовым раствором, прокладками из технического войлока, картона, резиноканевых пластин. Образцы из кирпича полусухого формования испытывают, не выравнивая поверхности.

Подготовленные образцы измеряют с помощью металлической линейки или штангенциркулем с точностью до 1 мм, и вычисляют площадь поперечного сечения образца, как среднее арифметическое площадей верхней или нижней граней.

Предел прочности при сжатии МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (4.5)$$

где F — разрушающая нагрузка, Н;

A — площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>.

Предел прочности при сжатии кирпича, вычисляют с точностью до 0,1 МПа как среднее арифметическое значение результатов испытаний пяти образцов: В необходимых случаях учитывают следующее:

- 1) при вычислении предела прочности образцов, состоящих из двух кирпичей (целых или половинок) толщиной 88 мм, результаты испытаний умножают на коэффициент 1.2;

2) при вычислении предела прочности образцов кирпича пластического формования, выравненных шлифованием, гипсовым раствором или с использованием прокладок, результаты испытаний умножают на коэффициент  $k$ , который определяют как соотношение средних значений предела прочности по основной методике ( $R_1$ ) и по упрощённой ( $R_2$ ):  $k = R_1/R_2$ . Для кирпича пластического формования Брестского КСМ  $k=1.4$ .

Предел прочности при изгибе кирпича определяют на целом кирпиче, уложенном на две опоры и нагруженном посередине. Для испытания применяют приспособление, состоящее из опорных катков, которые располагают на расстоянии 200 мм друг от друга, и катка для передачи нагрузки от верхней плиты пресса. Длина каждого металлического катка должна быть не менее ширины пресса, диаметр — 10...20 мм. В местах соприкосновения образца с плитами пресса поверхность кирпича выравнивают цементным или гипсовым раствором, или шлифованием, или прокладками. Кирпич с несквозными пустотами укладывают пустотами вниз. Подготовленные образцы измеряют, определяя поперечные размеры кирпича посередине пролёта, с точностью до 1 мм.

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

$$R_{изг} = \frac{3Fl}{2ab^2}, \quad (4.6)$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка, Н;

$l$  – расстояние между опорами, мм;

$a$  – ширина образца, мм;

$b$  – высота образца посередине пролёта, мм.

Предел прочности при изгибе вычисляют с точностью до 0,05 МПа, как среднее арифметическое значение результатов испытаний пяти образцов.

Материалы и оборудование: образцы кирпича, прессы гидравлические, войлок технический толщиной 5...10 мм, линейка металлическая измерительная, приспособление для испытания образцов на изгиб.

Выполнение работы. При определении предела прочности кирпича при сжатии предварительно подготовленный и измеренный образец укладывают согласно схеме испытаний (рис.4.3) на нижнюю плиту гидравлического пресса мощностью 300 (500) кН. При этом геометрический центр образца и центр опоры пресса должны совпадать. Опустив верхнюю опору, включают пресс. Скорость нагружения должна обеспечить разрушение образца через 20 ...60 с после начала испытаний. Значение разрушающего усилия фиксируют по показаниям силоизмерителя пресса.

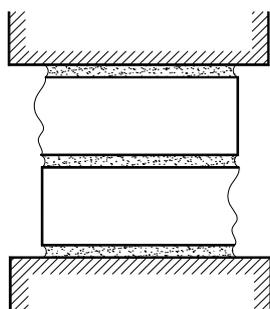


Рис. 4.3. Схема испытания кирпича на сжатие.

По формуле (4.5) рассчитывают предел прочности кирпича. Результат испытаний записывают в табл. 4.3.

Таблица 4.3.

Определение прочности кирпича при сжатии

Номер образца	Площадь образца $A, \text{ м}^2$	Разрушающая нагрузка $F, \text{ Н}$	Предел прочности при сжатии отдельного образца $R_{\text{сж}}, \text{ МПа}$	Среднее значение предела прочности $R_{\text{сж}}, \text{ МПа}$	Наименьшее значение предела прочности для отдельного образца $R_{\text{сж}}, \text{ МПа}$

При определении предела прочности кирпича при изгибе предварительно подготовленный и измеренный образец укладывают на приспособление для испытания, установленное на нижней плите пресса. Испытания производят гидравлическим прессом мощностью 100 кН (10 т) согласно стандартной схеме (рис. 4.4). И образец, и приспособление центрируют с плитами пресса. Нагрузка, подаваемая на образец, должна обеспечивать его разрушение через 20 ...60 с, после начала испытаний.

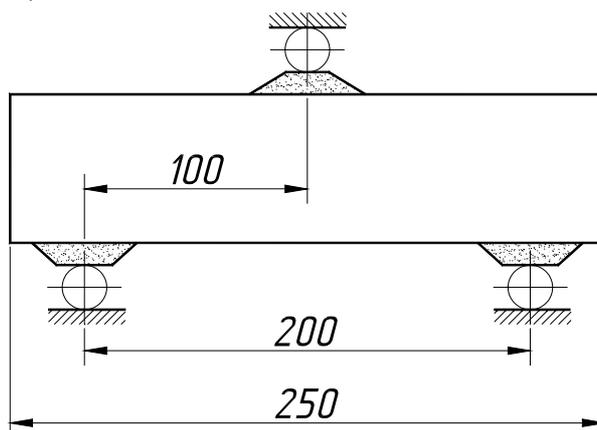


Рис. 4.4. Схема испытания кирпича на изгиб

Предел прочности при изгибе рассчитывают по формуле (4.5) и результаты испытаний записывают в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Определение прочности кирпича при изгибе

Номер образца	Размеры, мм			Разрушающая нагрузка $F, \text{ Н}$	Предел прочности при изгибе отдельного образца $R_{\text{изг}}, \text{ МПа}$	Среднее значение предела прочности $R_{\text{изг}}, \text{ МПа}$	Наименьшее значение предела прочности для отдельного образца $R_{\text{изг}}, \text{ МПа}$
	L	a	b				

По значениям пределов прочности при сжатии и при изгибе дают заключение о марке кирпича (табл. 4.5).

Таблица 4.5

## Марки кирпича глиняного обыкновенного

Марка кирпича	Предел прочности не менее (в МПа)							
	при сжатии		при изгибе					
	для всех видов изделий		полнотелого кирпича пластического формования		кирпича полусухого прессования и одинарного пустотелого кирпича		пустотелого утолщённого кирпича	
	средний	наименьший для отдельного образца	средний	наименьший для отдельного образца	средний	наименьший для отдельного образца	средний	наименьший для отдельного образца
300	30	25	4,4	2,2	3,4	1,7	2,9	1,5
250	25	20	3,9	2,0	2,9	1,5	2,5	1,3
200	20	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3	2,3	1,1
175	17,5	15	3,1	1,5	2,3	1,1	2,1	1,0
150	15	12,5	2,8	1,4	2,1	1,0	1,8	0,9
125	12,5	10	2,5	1,2	1,9	0,9	1,6	0,8
100	10	7,5	2,2	1,1	1,6	0,8	1,4	0,7
75	7,5	5	1,8	0,9	1,4	0,7	1,2	0,6

*Заключение.*

## 5. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ

### 5.1. Испытание извести строительной воздушной

Известь строительная воздушная — минеральное вяжущее, получаемое умеренным обжигом кальциево-магниевого карбонатных пород (известняков, мела, доломитизированных известняков и др.), содержащих глинистых примесей не более 6%.

Основной составляющей таких пород, является карбонат кальция ( $CaCO_3$ ), примеси — углекислый магний ( $MgCO_3$ ), кварц ( $SiO_2$ ), оксид железа ( $Fe_2O_3$ ) и др.

Основной объём извести получают в шахтных печах, которые работают по непрерывной технологии: печь догружается сырьём по мере выгрузки готового продукта. Для получения воздушной извести требуется поддерживать температуру 900-1200<sup>0</sup>С, что зависит в основном от состава сырья. Обжиг производится до возможно более полного удаления углекислого газа, по реакции:



Продукт обжига содержит кроме  $CaO$  также и небольшое количество оксида магния, образовавшегося в результате термической диссоциации углекислого магния:



Таким образом, получаемый продукт обжига — воздушная известь, состоит из оксида кальция (основная составная часть) и оксида магния. В зависимости от их соотношения различают воздушную известь следующих видов: кальциевую, в которой преобладает  $CaO$ , содержание  $MgO \leq 5\%$ ; магнезиальную с содержанием  $MgO$  от 5 до 20%; доломитовую с содержанием  $MgO$  от 20 до 40%. Наиболее качественной является кальциевая известь.

В зависимости от вида обработки обожжённого продукта различают несколько видов воздушной извести:

- негашеную комовую известь-кипелку (куски размером 10...20 мм). Кипелкой такую известь называют потому, что реакция гашения протекает с выделением большого количества тепла, достаточного для вскипания воды:



где  $Q$  — количество теплоты равное 1160 кДж (277 ккал) на 1 кг  $CaO$ .

- негашёную молотую известь — порошкообразный продукт помола комовой извести;
- гидратную (гашеную) известь-пушонку — порошок, получаемый в результате гашения определённым количеством воды; в ходе реакции известь значительно, в 2-3 раза, увеличивается в объёме («распушается»).
- известковое тесто и известковое молоко — продукты, получаемые в результате гашения извести с большим расходом воды.

Воздушную известь применяют как вяжущее в растворах для каменной кладки и штукатурных работ, в красочных составах; как пластификатор в смешанных растворах; с использованием извести получают местные вяжущие вещества; известь в смеси с кремнезёмистым компонентом является сырьём для производства силикатных материалов автоклавного твердения.

Качество извести оценивают по стандартной методике (ГОСТ 688-77).

### **5.1.1. Определение суммарного содержания активных оксидов ( $CaO+MgO$ ) в кальциевой извести**

Содержание активных  $CaO+MgO$  (в пересчёте на сухое вещество) в негашеной извести первого сорта должно быть не менее 90%, второго — 80%, третьего — 70%.

Определение активных ( $CaO+MgO$ ) ведётся методом титрования. Титрование — процесс добавления раствора соляной кислоты к щелочному раствору извести, в результате которого получается нейтральная среда. Окончание реакции устанавливается по изменению окраски индикатора. При титровании определяется объём соляной кислоты, затраченной на взаимодействие с известью. При расчетах учитывается титр  $HCl$ . Титр — число граммов растворенного вещества ( $CaO$ ), соответствующее 1 мл 1-нормального раствора  $HCl$ .

Материалы и оборудование: проба извести, ступка фарфоровая, весы аналитические, вода дистиллированная, коническая колба вместимостью 250 мл, стеклянные бусинки или оплавленные палочки длиной 5...7 мм, стеклянная воронка, 1-нормальный раствор соляной кислоты, часы, электроплитка, бюретка, 1%-ный спиртовой раствор фенолфталеина.

**Выполнение работы.** От пробы негашеной комовой или молотой извести отбирают навеску 4-5 г и растирают в течение 5 мин в фарфоровой ступке. Рас-тертую известь взвешивают в количестве 1 г и помещают в коническую колбу ем-костью 250 мл; заливают 150 мл дистиллированной воды. Для лучшего переме-шивания в колбу помещают 15-20 стеклянных бусинок. Затем колбу закрывают стеклянной пластинкой и нагревают на электроплитке в течение 5-7 мин, не дово-дя до кипения. После остывания раствор извести смывают с пластинки и со стенок колбы дистиллированной водой, добавляют 2-3 капли 1% раствора фенолфта-леина, который окрашивает содержимое колбы в малиновый цвет, и титруют 1Н раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания. Титрование осуществ-ляют медленно, добавляя кислоту по каплям. Титрование заканчивают, если по истечении 5-7 минутного выдерживания содержимое колбы не окрасится вновь.

Содержание активных  $CaO+MgO$  (%) в комовой и молотой негашеной извести вычисляют по формуле:

$$A = \frac{V_{HCl} \cdot T_{CaO}}{m_i} \cdot 100, \quad (5.4)$$

где  $V_{HCl}$  – объём 1Н раствора  $HCl$ , израсходованный на титрование, мл;  
 $T_{CaO}$  – титр 1Н раствора  $HCl$ , выраженный в г  $CaO$ ;  
 $m_i$  – масса навески извести, г.

Результаты испытаний заносят в табл. 5.1 и оценивают сортность извести.

Таблица 5.1.

Определение содержания активных оксидов  $CaO+MgO$  в воздушной строительной извести

Масса извести, $m_i$ , г	
Объём 1Н раствора $HCl$ , израсходованный на титрование $V_{HCl}$ , мл	
Содержание $CaO+MgO$ , %	
Сорт извести по содержанию $CaO$ и $MgO$	

### 5.1.2. Определения содержания непогасившихся зерен

Воздушная известь может содержать включения не способные к гаше-нию: кварцевый песок, кусочки шлака, неразложившиеся при обжиге  $CaO$  и  $MgO$  — недожѐг; спекшиеся и оплавленные частицы трудногасящегося  $CaO$  — пережѐг. Если недожѐг — это балласт, понижающий выход активных  $CaO+MgO$ , то пережѐг в присутствии влаги будет гаситься очень медленно и заканчиваться этот процесс может в растворе кирпичной кладки или штукатур-ки, что приведет к растрескиванию затвердевшего раствора. От содержания непогасившихся зерен зависит качество извести. В комовой кальциевой извес-ти таких зерен должно быть не более 7% для извести 1-го сорта; 11% — для извести 2-го сорта; 14% — для извести 3 сорта.

**Материалы и оборудование:** известковое тесто, вода, электриче-ская плитка, цилиндрический металлический сосуд объёмом не менее 2-х литров, технические весы, сито с сеткой №063, стеклянная палочка с ре-зиновым наконечником.

**Выполнение работы.** Для определения содержания в извести непогасив-шихся зерен заранее приготавливают известковое тесто из 1 кг негашеной извес-

ти. Готовое тесто разбавляют холодной водой до консистенции известкового молока и небольшими порциями промывают на сите №063 слабой непрерывной струёй, слегка растирая мягкие кусочки стеклянной палочкой с резиновым наконечником. Остаток на сите высушивают при температуре 140-150 °С до постоянной массы и взвешивают на технических весах.

Содержание непогасившихся зерен, % вычисляют по формуле:

$$Н.З. = \frac{m_1}{m_n} \cdot 100, \quad (5.5)$$

где  $m_1$  — масса остатка на сите после высушивания, г

$m_n$  — масса навески негашеной извести, г

Результаты испытаний записывают по форме (5.2) и дают заключение о качестве извести.

Таблица 5.2.

Определение содержания в извести непогасившихся зерен

Масса негашеной извести $m_n$ , г	
Масса остатка на сите №063 после промывания и высушивания $m_1$ , г	
Содержание непогасившихся зерен Н.З., %	
Сорт извести по содержанию непогасившихся зерен	

### 5.1.3. Определение скорости гашения извести

Скорость гидратации зависит от размеров кристаллов  $CaO$ , на величину которых, в свою очередь, влияет температура и продолжительность обжига. Так, при величине кристаллов до 5 мкм скорость гашения составляет 2...3 мин, а при величине кристаллов 50 мкм — 25...30 мин. Скорость гашения регулируют с помощью добавок: увеличивают (вводя  $CaCl_2$ ,  $NaCl$ ) или замедляют ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ; ЛСТ). При низких температурах (в зимних условиях) большое тепловыделение является положительным свойством гидратации извести.

Скорость гашения характеризуется временем от момента добавления к извести воды до начала падения температуры теста.

По срокам гашения известь подразделяется на виды:

- 1) быстрогасящаяся – время гашения до 8 мин
- 2) среднегасящаяся – время гашения от 8 до 25 мин
- 3) медленногасящаяся – время гашения более 25 мин.

**Материалы и оборудование:** проба извести, технические весы, вода, термосная колба (сосуд Дюара), деревянная отполированная палочка, термометр на 100 °С, секундомер, мерный цилиндр.

**Выполнение работы.** Масса навески извести зависит от её активности и рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{1000}{A}, g \quad (5.6)$$

где  $A$  — содержание активных  $CaO+MgO$  в извести, %

Навеску извести помещают в термосную колбу (рис. 5.1), заливают 25 мл воды, имеющей температуру 20 °С и быстро перемешивают деревянной отполированной палочкой. Затем колбу плотно закрывают пробкой со вставленным термометром и оставляют в покое. Ртутный шарик тер-

мометра должен быть полностью погружен в реагирующую смесь. Отсчёт температуры ведётся через каждую минуту, начиная с момента добавления воды. Определение считается законченным, если в течение 4 мин температура не повысится более чем на 1 °С. За время гашения принимается время с момента добавления воды до начала периода, когда рост температуры не превышает 0.25 °С в минуту.

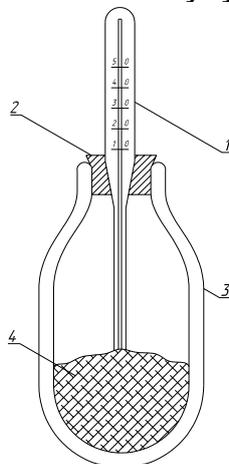


Рис. 5.1. Термосная колба для определения скорости гашения извести  
1 – термометр; 2 – пробка; 3 – термосная колба (сосуд Дьюара);  
4 – известь.

На основании полученных данных строится графическая зависимость  $f = t(\tau)$ . На оси абсцисс откладывают время от начала опыта, а на оси ординат – температуру; по максимуму устанавливают скорость гашения и определяют вид извести по скорости гашения.

## 5.2. Гипс строительный

Гипсовые вяжущие – воздушные вяжущие вещества, состоящие из полуводного гипса ( $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ ) или ангидрита ( $CaSO_4$ ) и получаемые обычно тепловой обработкой исходного сырья и его помолом. В качестве сырья используют чаще всего горную породу осадочного происхождения – гипс ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ); кроме того, применяют ангидрит и отходы промышленности (фосфогипс, борогипс).

В зависимости от температуры тепловой обработки различают: низкообжиговые (собственно гипсовые) и высокообжиговые (ангидритовые) вяжущие. Первые получают тепловой обработкой природного гипса при низких температурах (110-180 °С), при этом происходит частичная дегидратация сырья:



Низкообжиговые гипсовые вяжущие состоят в основном из полуводного гипса  $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$  и характеризуются быстрым твердением. К низкообжиговым вяжущим относятся: строительный гипс, формовочный гипс, высокопрочный (технический гипс).

Вторые получают обжигом сырья при высоких температурах (600-950 °С). Они преимущественно состоят из безводного гипса (ангидрита)  $CaSO_4$ , который частично диссоциирует с образованием  $CaO$  и отличаются

медленным твердением. К высокообжиговым относятся: ангидритовые вяжущие (ангидритовый цемент), высокообжиговый гипс (эстрих-гипс).

Строительный гипс – воздушное вяжущее, получаемое низкотемпературным обжигом гипсового камня в варочных котлах или печах. В условиях тепловой обработки кристаллизационная вода выделяется из двуводного гипса в основном в виде пара, что приводит к образованию мелких кристаллов  $\beta$ -модификации  $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ . Кроме того, строительный гипс содержит небольшое количество ангидрита и частицы неразложившегося природного гипса. Такой гипс имеет повышенную водопотребность, низкую водостойкость, не очень высокую прочность, склонен к ползучести под нагрузкой. Процесс твердения гипса протекает по реакции



в результате которой образуется двуводный гипс, аналогичный исходному материалу. Особенностью гипса является его способность расширяться при твердении, увеличиваясь в объёме. Это позволяет применять гипс, в отличие от других вяжущих, без заполнителей.

Качество гипса контролируют согласно ГОСТ 125-79 по следующим показателям: тонкости помола, водопотребности, срокам схватывания, пределу прочности на изгиб и сжатии.

### **5.2.1. Определение нормальной густоты (стандартной консистенции) гипсового теста**

Нормальная густота (стандартная консистенция) гипсового теста характеризует водопотребность гипса, т.е. выражает процентное содержание воды по отношению к гипсу, необходимое для получения теста определенной пластичности. Нормальная густота строительного гипса составляет 50...70%. Для химической реакции необходимо около 19% воды, остальная вода требуется для получения пластичного теста. В процессе твердения избыточная вода испаряется, и затвердевший материал отличается повышенной пористостью, низкими теплопроводностью, звукопоглощением, но имеет не очень высокую прочность. В целях снижения водопотребности и повышения прочности в гипсовое тесто вводят пластифицирующие добавки.

Нормальную густоту гипсового теста оценивают диаметром расплыва теста, вытекающего из цилиндра при его поднятии. Диаметр расплыва должен быть равен  $180 \pm 5$  мм. На тесте нормальной густоты определяют сроки схватывания и прочность гипса.

Материалы и оборудование: проба гипса, весы технические, вода, мерный цилиндр, чаша для затворения, ручная мешалка, линейка, полый латунный цилиндр, стекло, бумага, секундомер.

Выполнение работы. Определение производят на приборе, состоящем из латунного полого цилиндра высотой 100 мм, внутренним диаметром 50 мм. На стекле или на специальной бумаге диаметром более 240 мм, которая будет находиться под стеклом, наносят концентрические окружности через каждый сантиметр (рис. 5.2). Перед испытанием внутреннюю поверхность цилиндра и стекло протирают влажной тканью.

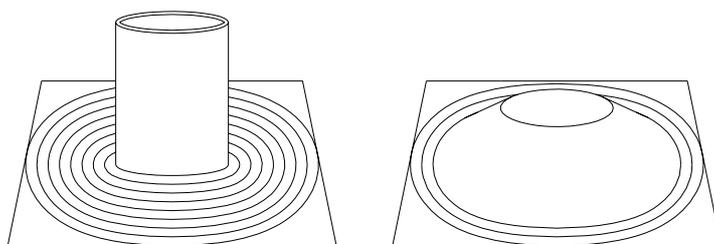


Рис. 5.2. Определение нормальной плотности гипса

На технических весах взвешивают 300 г гипса с точностью до 1 г и цилиндром отмеряют воду (50...70% от массы гипса). Воду выливают в чистую чашу для затворения, затем в неё всыпают в течение 2...5 с отмеренный гипс. Массу перемешивают ручной мешалкой, имеющей не менее 3 петель, в течение 30 с, начиная отсчёт времени от начала засыпания гипса в воду. После окончания перемешивания цилиндр, установленный в центре стекла, заполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают линейкой. Через 45 с, считая от начала засыпания гипса в воду, или через 15 с после окончания перемешивания, цилиндр очень быстро поднимают вертикально вверх на высоту 15...20 мм и отводят в сторону. Диаметр расплыва измеряют непосредственно после поднятия цилиндра линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение. Если диаметр расплыва не соответствует  $180 \pm 5$  мм, испытание проводят с измененной массой воды.

Результаты испытаний записывают в табл. 5.3.

Таблица 5.3.

Определение нормальной плотности гипсового теста

Показатель	Данные испытаний			
	1	2	3	4
Масса взятого для испытания гипса, г				
Количество воды от массы гипса, %				
Количество воды, г (мл)				
Диаметр растекшейся лепешки, мм				
Нормальная плотность гипсового теста, %				

### 5.2.2. Определение сроков схватывания гипсового теста

Сроки схватывания характеризуются периодами времени, в течение которых гипсовое тесто утрачивает пластичность (начало схватывания) и превращается в камневидное тело (конец схватывания). Сроки схватывания зависят от состава вяжущего, количества и температуры воды затворения. Для регулирования сроков схватывания в производственных условиях применяют добавки.

В качестве замедлителей схватывания используют кератиновый замедлитель, известково-костный клей, ЛСТ и др. Они или понижают растворимость полуводного гипса, или, обволакивая его частички, затрудняют доступ воды к ним. Для ускорения сроков схватывания используют молотый гипсовый камень, поваренную соль и другие добавки, которые повышают растворимость полуводного гипса.

По срокам схватывания гипсовые вяжущие разделяют на 3 вида (табл. 5.4).

Таблица 5.4.

Сроки схватывания гипсовых вяжущих

Вид вяжущего	Индекс сроков твердения	Сроки схватывания, мин	
		начало, не менее	конец, не менее
Быстротвердеющий	А	2	15
Нормальнотвердеющий	Б	6	30
Медленнотвердеющий	В	20	не нормируется

Сроки схватывания определяют с использованием гипсового теста нормальной густоты.

**Материалы и оборудование:** проба гипса, вода, мерный цилиндр, чаша для затворения, ручная мешалка, прибор Вика с иглой, технические весы, минеральное масло, часы, нож.

**Выполнение работы.** Для определения сроков схватывания используют прибор Вика (рис. 5.3), на нижней части подвижного стержня которого закреплена стальная игла диаметром  $1,1 \pm 0,02$  мм. Масса стержня с иглой составляет  $300 \pm 2$  г.

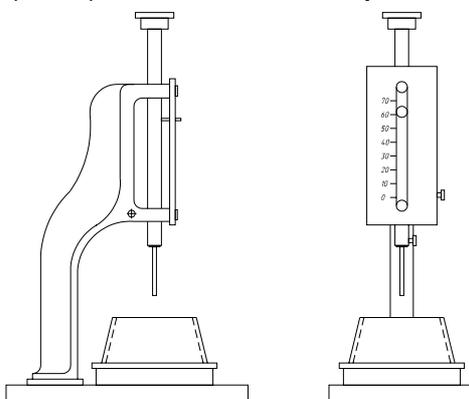


Рис. 5.3. Прибор Вика

Перед началом испытания проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика, чистоту иглы, а также нулевое положение подвижной части. Кольцо и пластинку предварительно смазывают минеральным маслом. Затем готовят гипсовое тесто нормальной густоты: для этого берут 200...300 г гипса и соответствующее количество воды (см. п. 5.2.1). Гипс всыпают в воду и перемешивают в течение 1 минуты. Затем готовое тесто укладывают в кольцо прибора. Для удаления попавшего в форму воздуха, кольцо с пластинкой осторожно встряхивают 4...5 раз, приподнимая сторону пластинки приблизительно на 10 мм. После этого избыток теста срезают, заглаживают, и кольцо помещают под иглу прибора Вика. Подвижную часть прибора с иглой устанавливают в такое положение, при котором конец иглы касается поверхности гипсового теста, а затем иглу свободно опускают в кольцо с тестом. Погружение производят через каждые 30 с. После каждого погружения иглу тщательно вытирают, а пластинку вместе с кольцом передвигают так, чтобы игла при новом погружении попала в другое место поверхности теста.

За начало схватывания принимают время (в минутах) от момента добавления гипса к воде до момента, когда свободно опущенная игла прибора Вика после погружения в тесто, первый раз не доходит до поверхности пластины.

За конец схватывания принимают время (в минутах) от момента добавления гипса к воде до момента, когда свободно опущенная игла прибора Вика погружается на глубину не более, чем на 1 мм.

Результаты испытания записывают в табл. 5.5.

Таблица 5.5.

Определение сроков схватывания гипсового теста

Номер опыта	Отсчёт по прибору Вика	Время		
		час	мин	
				начало затворения гипса водой
				когда игла первый раз не дошла до пластины
				когда игла погрузилась в гипсовое тесто на глубину не более 1мм

Начало схватывания, мин \_\_\_\_\_

Конец схватывания, мин \_\_\_\_\_

Вид гипса по срокам схватывания \_\_\_\_\_

**5.2.3. Определение тонкости помола гипса**

Тонкость помола определяется результатом просеивания через сита с отверстиями определенного размера.

С повышением тонкости помола возрастает удельная поверхность зерен, а следовательно, и реакционная способность, т.е. качество вяжущего улучшается.

По тонкости помола гипсовые вяжущие разделяют на 3 группы (табл. 5.6).

Таблица 5.6.

Тонкость помола гипсовых вяжущих

Вид вяжущего	Индекс степени помола	Максимальный остаток на сите с размером ячеек в свету 0.2 мм, не более, %
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

Материалы и оборудование: проба гипса, весы технические, часы, сито №02.

Выполнение работы: Тонкость помола гипса характеризуется остатком на сите № 02 в процентах.

Сущность метода заключается в определении массы гипса, оставшегося при просеивании на сите с размером ячеек в свету 0.2 мм.

Для испытания отвешивают 50 г гипса с погрешностью не более 0.1 г, предварительно высушенного до постоянной массы в течение 1 часа при температуре  $50 \pm 5^\circ\text{C}$ . Высыпают навеску на сито №02 и производят просеивание вручную или механической установкой в течение 10...15 мин.

Просеивание считают законченным, если сквозь сито на отдельный листок бумаги в течение 1 минуты при ручном просеивании проходит не более 0.05 г гипса.

Тонкость помола определяют в процентах по формуле:

$$Oст = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \quad (5.7)$$

где  $m_1$  – масса гипса, оставшегося на сите после просеивания, г;

$m$  – первоначальная масса гипса, г.

За величину степени помола принимают среднее арифметическое результатов двух испытаний. Полученные данные записывают в табл. 5.7.

Таблица 5.7

## Определение тонкости помола гипса

Показатель	Номер испытаний	
	1	2
Первоначальная масса гипса $m$ , г		
Масса гипса, оставшегося на сите после просеивания $m_1$ , г		
Остаток на сите №02 $Oст$ , %		
Тонкость помола, %		

Вид гипса по степени помола \_\_\_\_\_

**5.2.4. Определение марки гипсовых вяжущих**

Для гипсовых вяжущих стандартом установлены 12 марок (табл. 5.8), которые назначаются по наименьшему пределу прочности при сжатии и при изгибе.

Таблица 5.8

## Прочность гипсовых вяжущих

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

**Материалы и оборудование:** пробы гипса, вода, мерный цилиндр, чаша для затворения, ручная мешалка, технические весы, секундомер, формы балочек размером 40×40×160 мм, минеральное масло, нож, стальные пластинки для передачи нагрузки площадью 25 см<sup>2</sup>, испытательная машина МИИ-100, гидравлический пресс мощностью 5 (10) т.

**Выполнение работы.** Для изготовления образцов берут 1000 г гипса и в течение 5...20 с засыпают в чашку с водой, взятой в количестве, необходимом для получения теста нормальной густоты, и затем интенсивно перемешивают в течение 60 с. Внутреннюю поверхность предварительно подготовленной формы слегка смазывают минеральным маслом. Отсеки формы наполняют одновременно, для чего чашку с гипсовым тестом равномерно передвигают над формой. Для удаления вовлеченного воздуха, после заливки форму встряхивают за торцевую сторону на высоту 8...10 мм пять раз. Излишки гипсового теста снимают. Через 15±5 мин после конца схватывания образцы извлекают из формы и хранят в помещении для испытаний.

Определение прочности образцов, изготовленных из гипсового теста нормальной густоты, проводят через 2 часа после затворения гипса водой.

Испытание прочности на изгиб производят на приборе МИИ-100 трех образцов-балочек. Образец устанавливают на опоры прибора (рис. 5.4) таким образом, чтобы те его грани, которые были горизонтальными, находились в вертикальном положении. На шкале прибора фиксируют значение предела прочности на изгиб в кг/см<sup>2</sup>.

Результаты испытаний записывают в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Результаты испытания образцов на изгиб

Показатель	Номер образца		
	1	2	3
Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ , МПа			
Средний предел прочности при изгибе $R_{изг}$ , МПа			

Испытание прочности на сжатие производят на шести половинках балочек, полученных при определении прочности на изгиб. Половинки помещают между двумя пластинками таким образом, чтобы боковые грани находились на плоскостях пластин, а упоры плотно прилегали к торцевой, гладкой стенке образца (рис. 5.4). Образец вместе с пластинками устанавливают в центре нижней плиты пресса. Скорость нарастания нагрузки должна составлять  $2 \pm 0.5$  МПа/с. В момент разрушения по манометру снимают отсчёт.

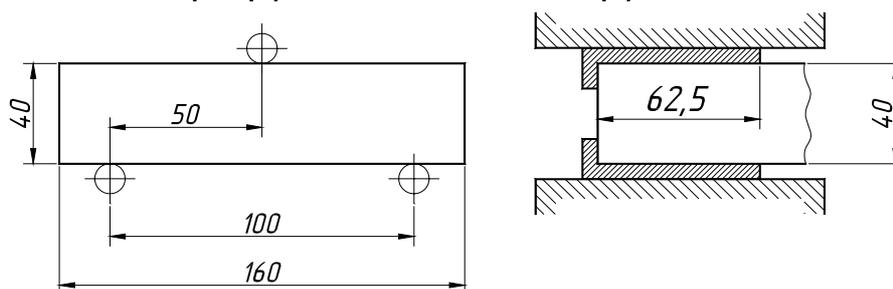


Рис. 5.4. Определение предела прочности образцов гипса на изгиб и на сжатие

Расчёт предела прочности на сжатие производят по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (5.8)$$

где  $F$  — разрушающая нагрузка, Н;  
 $A$  — площадь пластинки,  $25 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>.

Предел прочности на сжатие вычисляют как среднее арифметическое четырёх наилучших результатов испытаний.

Таблица 5.10.

Результаты испытания образцов на сжатие

Показатель	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
Разрушающая нагрузка $F$ , Н						
Площадь сжатия (пластинки) $A$ , м <sup>2</sup>						
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ , МПа						
Среднее значение предела прочности при сжатии $R_{сж}$ , МПа						

После выполнения всей серии опытов, предусмотренных ГОСТ 125-79, определяют марку, вид гипсового вяжущего и область его применения (табл. 5.11).

Таблица 5.11.

### Применение гипсовых вяжущих

Области применения гипсовых вяжущих	Рекомендуемые марки и виды
Изготовление гипсовых строительных изделий всех видов	Г-2 ÷ Г-7, всех видов твердения и степеней помола
Изготовление тонкостенных строительных материалов и декоративных деталей	Г-2 ÷ Г-7, тонкого и среднего помола, быстрого и нормального твердения
Производство штукатурных работ, заделка швов и специальные цели	Г-2 ÷ Г-25, нормального и медленного твердения, среднего и тонкого помола
Изготовление форм и моделей в фарфорофаянсовой, керамической, машиностроительной и других отраслях промышленности, а также в медицине	Г-5 ÷ Г-25, тонкого помола с нормальными сроками схватывания

Марка гипса по прочности \_\_\_\_\_

Применение гипса \_\_\_\_\_

## 5.3. Портландцемент

В современном строительстве основным минеральным вяжущим является портландцемент. Портландцемент — это гидравлическое вяжущее, получаемое совместным тонким помолом клинкера и гипса. Клинкер портландцемента получают в виде спекшихся гранул размером 10...60 мм, путём обжига до спекания сырьевой смеси, состоящей из известняка или мела с глиной, или их природных смесей — мергелей, в соотношении примерно равным 3:1. Гипс вводят в состав портландцемента для регулирования сроков схватывания.

Качество клинкера зависит от его химического и минералогического состава. Химический состав характеризуется содержанием различных оксидов, основными из которых являются  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ . Эти оксиды взаимодействуют в процессе обжига, образуя клинкерные минералы. Минералогический состав характеризуется количественным соотношением основных клинкерных минералов.

- Алит — важнейший минерал клинкера, состоящий в основном из трехкальциевого силиката  $3CaO \cdot SiO_2 (C_3S)$ , определяет быстроту твердения, прочность и др.
- Белит — второй по значению клинкерный минерал, состоит из  $\beta$ -модификации двухкальциевого силиката  $2CaO \cdot SiO_2 (C_2S)$ ; отличается медленным твердением, но при длительном твердении обеспечивает высокую прочность. Цементы, содержащие повышенное количество  $C_2S$ , более стойкие к действию природных вод и морозостойки.
- Трехкальциевый алюминат  $3CaO \cdot Al_2O_3 (C_3A)$  отличается очень быстрым схватыванием и твердением, но даёт низкие прочность, морозостойкость, коррозионную стойкость, долговечность.

- Четырёхкальциевый алюмоферрит  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$  ( $C_4AF$ ) – по скорости твердения занимает промежуточное положение между алитом и белитом, прочность его незначительна.

Регулируя содержание основных минералов, тонкость помола, а также применяя минеральные и органические добавки можно регулировать свойства портландцемента и получать его разновидности с заданными специальными свойствами (пуццолановый, шлакопортландцемент, быстротвердеющий, сульфатостойкий и др. цементы).

Качество цемента оценивают по комплексу таких показателей, как тонкость помола, насыпная плотность, нормальная густота, сроки схватывания, равномерность изменения в объёме цементного камня, активность цемента. При соответствии всех показателей требованиям ГОСТа цементу присваивают марку.

### **5.3.1. Определение нормальной густоты цементного теста**

Нормальная густота цементного теста выражает процентное содержание воды по отношению к цементу, необходимое для придания тесту определенной степени пластичности.

Водопотребность цемента зависит от тонкости помола, минералогического состава и др. Для полной гидратации минералов портландцемента необходимо около 22% воды от массы цемента. Нормальная густота цементного теста находится в пределах 22...28%. Уменьшение водопотребности цемента улучшает его качество.

Материалы и оборудование: проба цемента, вода, прибор Вика, чаша для затворения, стандартная лопатка, мерный цилиндр, технические весы, секундомер.

Выполнение работы: Нормальную густоту цементного теста определяют с помощью прибора Вика. Для этого иглу прибора заменяют пестиком. Масса подвижного стержня с пестиком должна составлять  $300 \pm 2$  г. Диаметр пестика 10 мм.

Взвешивают 400 г цемента (просеянного через сито №09) с точностью до 1 г и высыпают его в сферическую металлическую чашу для затворения, предварительно протёртую влажной тканью. В цемент делают углубление, в которое вливают воду в количестве 23...28 % от массы цемента. Через 30 с массу осторожно перемешивают, а затем энергично растирают лопаткой в течение 5 мин с момента затворения водой. Перед испытанием проверяют, свободно ли двигается стержень с пестиком, нулевое положение подвижной части. После перемешивания цементное тесто в один приём укладывают в коническое кольцо прибора Вика, постукиванием (5...6 раз) уплотняют его и срезают излишки ножом. Кольцо устанавливают в прибор, приводя пестик в соприкосновение с поверхностью теста. Через 30 с фиксируют по шкале прибора глубину погружения пестика. Густота теста считается нормальной, если пестик не доходит до дна 5 – 7 мм. Если пестик остановится выше отметки 5 – 7 мм, то опыт повторяют с большим количеством воды, если ниже – то с меньшим. Нормальную густоту теста выражают количеством воды в процентах от массы цемента и определяют с точностью до 0,25%.

Полученные данные записывают в таблицу (5.12) и используют затем при определении сроков схватывания и равномерности изменения объёма.

Таблица 5.12

Результаты определения нормальной густоты цементного теста

Номер опыта	Масса цемента, г	Количество воды		Глубина погружения пестика, мм
		мл	%	

Нормальная густота, % \_\_\_\_\_

### 5.3.2. Определение тонкости помола цемента

При производстве портландцемента клинкер измельчают до частиц размером 10...20 мкм. От тонкости помола зависит прочность, сроки схватывания и интенсивность твердения. Тонкий помол цементов улучшает их качество, однако слишком тонкий помол может привести к отрицательным воздействиям (возрастает водопотребность и усадка, снижается прочность). Для качественных цементов остаток на сите №008 должен быть не более 15 %.

Материалы и оборудование: проба цемента, технические весы, сито № 008 с донышком и крышкой, лист белой бумаги.

Выполнение работы. Тонкость помола определяется ситовым анализом. Для этого отвешивают 50 г цемента, предварительно высушенного до постоянной массы в течение 1 часа в сушильном шкафу при температуре  $110 \pm 5$  °С, и высыпают его на сито № 008. Закрыв сито крышкой, устанавливают его в прибор для механического просеивания. При отсутствии прибора просеивание выполняют вручную. Испытание производят в течение 5-10 мин. Просеивание считается законченным, если при контрольном просеивании на лист белой бумаги в течение 1 мин сквозь сито проходит не более 0,05 г цемента.

Тонкость помола вычисляют с точностью до 0,1% как остаток на сите №008 по формуле:

$$T.П. = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \quad (5.9)$$

где  $m_1$  – масса цемента, оставшегося на сите после просеивания, г;  
 $m$  – первоначальная масса цемента, г.

Результаты испытаний записывают в табл. 5.13.

Таблица 5.13

Результаты определения тонкости помола

Показатель	Результат
Первоначальная масса цемента $m$ , г	
Масса цемента, оставшегося на сите №008 после просеивания $m_1$ , г	
Тонкость помола Т.П., %	
Заключение о качестве цемента	

### **5.3.3. Определение сроков схватывания цементного теста**

Сроки схватывания отражают процесс гидратации цемента и начальный период формирования структуры. Скорость схватывания цемента зависит от минерального состава, тонкости помола, количества воды затворения, температуры. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания — не позднее 10 часов. В производственных условиях, при необходимости сокращения сроков схватывания цементов вводятся добавки-ускорители схватывания ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , НК) или добавки-замедлители (СДБ, мылонафт,  $\text{NaCl}$ ), замедляющие реакции гидратации цемента.

**Материалы и оборудование:** проба цемента, вода, прибор Вика с иглой, чаша для затворения, стандартная лопатка, мерный цилиндр, секундомер, технические весы, машинное масло, часы.

**Выполнение работы.** Проверяют соответствие массы подвижного стержня прибора Вика с иглой 300 г. Устанавливают прибор на нулевое показание. Смазывают машинным маслом кольцо и пластину прибора Вика. Приготавливают цементное тесто нормальной густоты в соответствии с п. 5.3.1. Время начала затворения (момент приливания воды к цементу) записывают. Иглу погружают в тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы игла не попадала в прежнее место. В начале испытания, пока тесто находится в пластическом состоянии, во избежание сильного удара иглы о пластинку допускается слегка её задерживать при погружении в тесто.

Началом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения до момента, когда игла не дойдёт до пластинки на 1-2 мм.

Концом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения до момента, когда игла погружается в тесто на более чем на 1-2 мм.

### **5.3.4. Определение равномерности изменения объёма цементов**

Содержание свободных  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  в цементе не должно превышать соответственно 1 и 5%.

Если в составе цемента содержатся свободные оксиды кальция и магния сверх нормы, то такие цементы неравномерно изменяют объём при твердении, так как при взаимодействии с водой происходит образование гидратов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , сопровождающееся увеличением объёма, что вызывает коробление или растрескивание изделий.

**Материалы и оборудование:** проба цемента, вода, машинное масло, чаша для затворения, стандартная лопатка, мерный цилиндр, ванна с гидравлическим затвором, пропарочный бачок, нагревательный прибор, термометр, стеклянные пластинки, нож, линейка, часы.

**Выполнение работы.** Из цементного теста нормальной густоты (приготовленного в соответствии с п. 5.3.1) отвешивают четыре навески по 75 г. Из каждой навески теста вручную изготавливают шарик. Затем помещают шарики на стеклянную пластинку, протёртую машинным маслом, и

встряхивают на стекле до момента расплыва шариков в лепешки диаметром 7-8 см и толщиной в середине 1 см каждая. Ножом, смоченным в воде, сглаживают лепешки от краев к центру так, чтобы они имели закругленную гладкую поверхность и острые края. Приготовленные лепешки хранят в ванне с гидравлическим затвором в течение  $24 \pm 2$  часа с момента их изготовления при температуре  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ .

Затем лепешки снимают с пластинки, вынимают из ванны и помещают на решетчатую полку пропарочного бачка. Уровень воды в бачке должен быть выше на 4-6 см верха лепешек. Воду в бачке доводят до кипения на нагревательном приборе и кипятят в течение 3 часов.

После этого лепешки охлаждают в бачке, достают их из воды и сразу же осматривают. Цемент выдержал испытание и соответствует ГОСТ 10178-85 на равномерность изменения объема, если на лицевой стороне испытанных лепешек не будет радиальных, доходящих до краев, трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу, а также каких-либо искривлений и увеличения в объеме (рис 5.5).

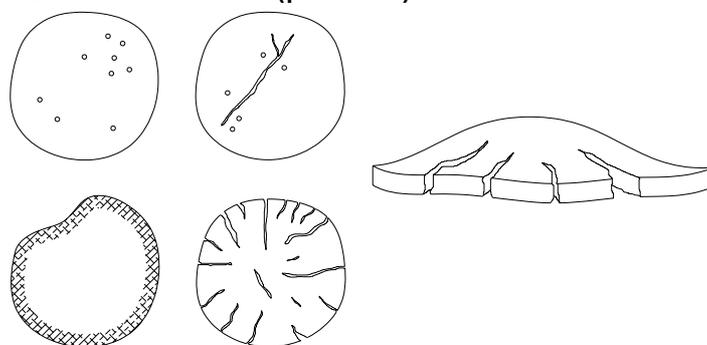


Рис. 5.5. Неравномерность изменения объема цементного теста.

Результаты испытаний записывают в табл. 5.13.

Таблица 5.13

Результаты испытания на равномерность изменения объема

Показатель	Результат	Вид образцов - лепешек
Масса цемента, г		
Содержание воды от массы цемента, %		
Наличие дефектов на образцах – лепешках		

*Заключение.*

### 5.3.5. Определение марки цемента

Прочность — основное свойство, характеризующее качество любого цемента. Для её оценки используют стандартную характеристику — марку. При определении марки учитывают предел прочности при сжатии и при изгибе. Действительный предел прочности при сжатии цементных образцов, испытанных в возрасте 28 сут, называют **активностью** цемента.

Согласно ГОСТ 10178-85 марка цемента определяется пределом прочности при изгибе образцов-балочек  $40 \times 40 \times 160$  мм и сжатии их половинок из раствора состава 1:3 по массе с нормальным песком, изготовленных и твердевших в соответствии с нормативными требованиями и ис-

пытанных через 28 сут с момента изготовления. Образцы балочек и их половинки должны иметь предел прочности при изгибе и сжатии не ниже величин, указанных в табл. 5.14.

Таблица 5.14.

Марки портландцемента

Марка портланд-цемент	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут, МПа	Предел прочности при изгибе в возрасте 28 сут, МПа
400	40	5,5
500	50	6,0
550	55	6,2
600	60	6,5

**Материалы и оборудование:** проба цемента, вода, технические весы, песок, чаша для затворения, стандартная лопатка, мерный цилиндр, встряхивающий столик, форма для изготовления образцов - балочек, виброплощадка, ванна с гидравлическим затвором, машинное масло, испытательная машина МИИ-100, стальные пластинки для передачи нагрузки, гидравлический пресс.

**Выполнение работы.** Взвешивают 1500 г песка и 500 г цемента, высыпают их в увлажненную сферическую чашу и перемешивают лопаткой в течение 1 минуты. В центре сухой смеси делают лунку и вливают в неё 200 г воды, что соответствует В/Ц=0.4, когда вода впитается, смесь снова перемешивают в течение 1 мин, переносят её в механическую мешалку, перемешивают в течение 2.5 мин (20 оборотов чаши мешалки).

После этого определяют консистенцию раствора. Для этого растворную смесь в два приёма слоями равной толщины укладывают в установленную на встряхивающем столике форму-конус. И стеклянный диск, и форму-конус предварительно протирают влажной тканью. Каждый слой уплотняют металлической штыковкой, нижний слой штыкуют 15 раз, а верхний — 10 раз. Излишки раствора срезают ножом и форму-конус осторожно снимают вверх. Вращая ручку маховика, встряхивают столик 30 раз в течение 30 с. При этом конус из цементного раствора расплывается по площадке столика. Линейкой измеряют расплыв конуса по нижнему основанию в двух перпендикулярных направлениях. Если диаметр расплыва конуса окажется меньше 106 или больше 115 мм, то приготавливают новый раствор с большим или меньшим количеством воды, чтобы получить расплыв конуса в пределах 106-115 мм. Водопотребность растворной смеси выражается в виде водоцементного отношения (В/Ц).

После этого изготавливают три образца-балочки в трехсекционной форме, установленной и закрепленной на лабораторной виброплощадке, которая создаёт вертикальные колебания с амплитудой 0,35 мм и частотой 2800-3000 колебаний в 1 мин. Все три секции формы наполняют раствором примерно на 1 см по высоте и включают виброплощадку. После 2 мин вибрирования все секции формы равномерно небольшими порциями полностью заполняют раствором. По истечении 3 мин от начала вибрации виброплощадку выключают, снимают с неё форму, срезают излишки рас-

творя ножом, образцы маркируют и форму с образцами помещают в ванну с гидравлическим затвором на  $24 \pm 2$  часа ( $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $W = 90\%$ ).

После суточного хранения образцы осторожно извлекают из форм и в горизонтальном положении помещают на 27 суток в ванну с водой так, чтобы они не соприкасались друг с другом. Слой воды над образцами должен быть не менее 2 см. Через 14 сут воду меняют. Температуру воды поддерживают все 27 суток в пределах  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . После 28 суток хранения образцы извлекают из воды, насухо вытирают и не позднее чем через 30 мин подвергают испытанию на изгиб и сжатие.

Предел прочности образцов — балочек при изгибе определяют на приборе МИИ-100 и вычисляют как среднее арифметическое двух наибольших результатов испытаний трех образцов.

Полученные после испытаний на изгиб шесть половинок балочек сразу же испытывают на сжатие на гидравлическом прессе. Для передачи нагрузки каждую половинку балочки устанавливают в специальные пластины размерами  $40 \times 62,5$  мм (площадь  $25 \text{ см}^2$ ). Пластины накладывают на плоскости балочек, которые при изготовлении были вертикальными. Скорость нагрузки при испытании должна составлять  $2 \pm 0,5$  МПа.

Предел прочности при сжатии:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (5.10)$$

где  $F$  — разрушающая нагрузка, Н;

$A$  — площадь пластинки,  $\text{м}^2$ .

Средний предел прочности определяют, как среднее арифметическое четырёх наибольших результатов испытаний шести половинок балочек с точностью до 0,1 МПа.

На основании выполненных определений делается заключение о марке цемента и соответствии полученных свойств цемента требованиям ГОСТ 10187-85. В заключении также указывается область рационального применения цемента. Результаты записывают в форме таблиц.

Таблица 5.15

Результаты испытания образцов на изгиб

Показатель	Номер образца		
	1	2	3
Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ , МПа			
Средний предел прочности при изгибе $R_{изг}$ , МПа			

Таблица 5.16

Результаты испытания образцов на сжатие

Показатель	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
Разрушающая нагрузка $F$ , Н						
Площадь сжатия (пластинки) $A$ , $\text{м}^2$						
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ , МПа						
Среднее значение предела прочности при сжатии из четырёх значений $R_{сж}$ , МПа						

Марка цемента \_\_\_\_\_

## 6. ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

Заполнители занимают в бетонах и растворах до 80% объёма, поэтому они не только снижают расход дорогостоящего вяжущего вещества, но и влияют как на свойства смеси, так и на свойства затвердевшего каменного материала — бетона или раствора.

Стандартом (СТБ 4.211-94) установлена номенклатура заполнителей — это плотный щебень из горных пород, гравия, шлаков; гравий для строительных работ; песок природный и дробленый, обогащенный и фракционированный; смесь песчано-гравийная; пористые керамзитовый гравий, щебень и песок.

Заполнители классифицируют:

- по происхождению — на природные (образовавшиеся в результате выветривания горных пород) и искусственные (получаемые дроблением горных пород и отходов производств);
- по средней (или насыпной) плотности — на тяжелые и легкие;
- по размерам зёрен — на мелкие (песок) и крупные (щебень и гравий);
- по формам зёрен — на угловатые и округлые.

Заполнители, особенно природные, неоднородный по составу и свойствам материал. Поэтому, чтобы пробы заполнителя были представительны, т.е. достаточно отражали его свойства, от испытуемого материала отбирают необходимое количество частных проб, из которых путём объединения и усреднения получают среднюю пробу, которую сокращают методом квартования или с помощью желобчатого делителя.

### 6.1. Испытание песка

Песок состоит из зерен размером 0.16...5 мм. Среди природных песков встречаются горные (овражные), речные, морские, барханные и др. Каждые из них имеют свои преимущества и недостатки, проявляющиеся при использовании их в качестве мелких заполнителей.

В зависимости от вида горной породы, из которой образовался песок, его химический состав может быть различным. Наиболее часто встречаются кварцевые пески.

Качество песка определяется с помощью лабораторных испытаний и должно соответствовать стандарту (ГОСТ 6736-93, 8735-88).

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

Зерновым составом сыпучего материала называют выраженное в процентах или частях содержание в этом материале зерен определённого размера. Зерновой состав определяется просеиванием материала через набор сит, установленный стандартом на этот материал.

Песок по зерновому составу делят на 5 групп (табл. 6.1).

Таблица 6.1.

Зерновой состав песка

Группа песка	Полный остаток на сите №063, % по массе	Модуль крупности
Повышенной крупности	65...75	3...3,5
Крупный	45...65	2,5...3
Средний	30...45	2...2,5
Мелкий	10...30	1,5...2
Очень мелкий	менее 10	1...1,5

Если песок по модулю крупности относится к одной группе, а по полному остатку на сите №063 к другой, то определяющим показателем является модуль крупности.

Качественным считается песок, у которого соотношение зерен различного размера находится в определенных пределах. Это диктуется необходимостью максимального насыщения бетона зернами заполнителя, что возможно при условии, когда в промежутках между самыми крупными зернами входят более мелкие, а в промежутках между последними – ещё более мелкие и т.д. Это позволяет получить наименьший объём пустот в заполнителе, максимальную плотность и прочность бетона при минимальном расходе вяжущего.

Качество песка оценивают путём построения графика зернового состава (рис. 6.1).

Полные  
остатки,  
 $A_i, \%$

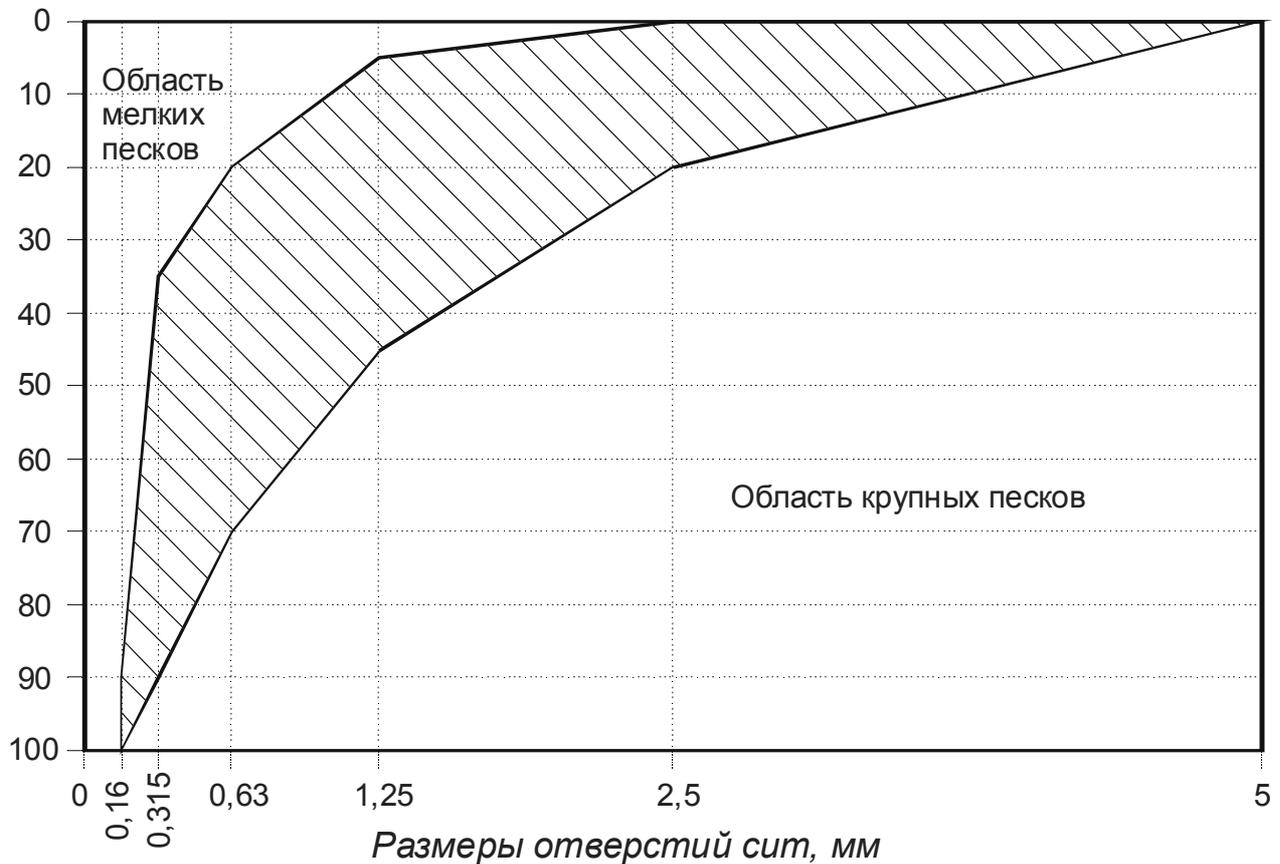


Рис. 6.1. График зернового состава песка

**Материалы и оборудование:** проба песка массой 2 кг, стандартный набор сит с отверстиями размером 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм с поддоном; технические весы.

**Выполнение работы.** Высушенную до постоянной массы пробу песка массой 2 кг просеивают через сита с отверстиями диаметром 10 и 5 мм. Остатки на ситах взвешивают и определяют содержание в песке зерен более 5 мм в процентах (по массе).

Из песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отмеряют навеску в 1000 г и просеивают через стандартный набор сит №2.5; 1.25; 0.63; 0.315; 0.16. Просеивание считают законченным, если, при встряхивании каждого сита над листом бумаги, практически не наблюдается падение зерен песка.

Остатки на каждом сите взвешивают с погрешностью не более 1 г на технических весах, а затем рассчитывают **частные остатки**  $a_i$  по формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (6.1)$$

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

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

**Полные остатки**  $A_i$  определяют с точностью до 0.1%. Полный остаток – это остаток, который был бы на данном сите, если бы просеивание производилось только через него. Равен он сумме всех частных остатков на данном и выше лежащих ситах, %:

$$A_i = a_{2,5} + \dots + a_i, \quad (6.2)$$

где  $a_{2,5} \dots a_i$  – частные остатки на ситах, %.

**Модуль крупности** песка вычисляют по формуле:

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}) / 100, \quad (6.3)$$

где  $A_{2,5} \dots A_i$  – полные остатки на ситах, %.

Результаты испытаний записывают в табл. 6.2 и графически изображают на графике зернового состава (рис.6.2) в виде кривой просеивания.

Таблица 6.2

Результаты ситового анализа песка

Остатки на ситах	Размер отверстий сит, мм					Прошло сквозь сито 0.16 мм
	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	
Частные остатки, г						
Частные остатки $a_i$ , %						
Полные остатки $A_i$ , %						

Модуль крупности песка \_\_\_\_\_

Группа песка \_\_\_\_\_

Заключение о качестве песка \_\_\_\_\_

### 6.1.2. Определение истинной плотности песка

Истинная плотность песка (плотность зерен) зависит от его минералогического состава и обычно находится в пределах 2000...2800 кг/м<sup>3</sup>. Значение истинной плотности заполнителя необходимо знать для расчёта пустотности и при подборе состава бетона.

**Материалы и оборудование:** песок, вода, пикнометр (или прибор Ле Шателье), весы технические, воронка, фильтровальная бумага.

**Выполнение работы.** Пикнометр (прибор Ле Шателье) наполняют водой до нижней нулевой черты. Верхнюю часть вытирают фильтровальной бумагой. Из предварительно подготовленного материала отмеряют на технических весах навеску с точностью до 0,01 г. Взвешенную порцию песка постепенно

всыпают в пикнометр через воронку, пока уровень жидкости не достигнет верхней черты. Для удаления воздуха пикнометр поворачивают вокруг вертикальной оси. Остаток песка взвешивают с точностью 0,01г. Истинную плотность вычисляют по формуле:

$$\rho_n = \frac{m - m_1}{V}, \quad (6.4)$$

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

$m_1$  – масса остатка материала, г;

$V$  – объём жидкости, вытесненной материалом,  $\text{см}^3$ .

Испытания выполняют дважды, расхождение не должно превышать  $0,02 \text{ г/см}^3$ . При большем расхождении выполняют ещё одно определение и принимают среднее арифметическое двух ближайших значений.

Таблица 6.3.

Определение истинной плотности песка

Показатель	№ испытаний	
	1	2
Масса песка до испытания, $m$ , г		
Масса остатка песка $m_1$ , г		
Объём воды, вытесненной песком $V$ , $\text{см}^3$		
Истинная плотность песка $\rho_n$ , $\text{кг/м}^3$		
Среднее значение истинной плотности песка $\rho_n$ , $\text{кг/м}^3$		

### 6.1.3. Определение насыпной плотности песка в стандартном неуплотнённом состоянии

Насыпная плотность рыхло-зернистых материалов может изменяться в зависимости от степени уплотнения, влажности, формы зерен. Значение насыпной плотности в стандартном неуплотнённом состоянии необходимо знать для вычисления пустотности при расчёте состава бетона.

**Материалы и оборудование:** проба песка массой 5...10 кг, весы технические, мерный цилиндрический сосуд вместимостью 1 л ( $0.001 \text{ м}^3$ ), металлическая линейка, сито с отверстиями диаметром 5 мм, металлическая воронка.

**Выполнение работы.** Пробу песка массой 5...10 кг высушивают до постоянной массы и просеивают через сито с отверстиями диаметром 5 мм. Затем просеянный песок с высоты 10 см через специальную воронку засыпают в предварительно взвешенный мерный сосуд с избытком, чтобы над верхней кромкой сосуда образовался конус. Этот конус срезают металлической линейкой вровень с краем сосуда. Мерный сосуд при этом остается неподвижным, чтобы не допустить уплотнения песка. Затем сосуд с песком взвешивают и рассчитывают насыпную плотность  $\rho_{nm}$   $\text{кг/м}^3$  песка по формуле:

$$\rho_{nm} = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (6.5)$$

где  $m$  – масса пустого мерного сосуда, кг;

$m_1$  – масса мерного сосуда с песком, кг;

$V$  – объём сосуда,  $\text{м}^3$ .

Насыпную плотность определяют дважды, каждый раз на новой навеске песка. За среднее значение насыпной плотности песка принимают среднее арифметическое результатов двух определений. Результаты записывают в таблицу 6.4.

Таблица 6.4.

Определение насыпной плотности песка в стандартном неуплотнённом состоянии

Показатель	Номер испытаний	
	1	2
Масса пустого мерного сосуда $m$ , кг		
Масса мерного сосуда с песком $m_1$ , кг		
Объём сосуда $V$ , м <sup>3</sup>		
Насыпная плотность $\rho_{nm}$ , кг/м <sup>3</sup>		
Среднее значение насыпной плотности $\rho_{nm}$ , кг/м <sup>3</sup>		

#### 6.1.4. Определение пустотности песка

Пустотность песка, % определяют по формуле:

$$V_{II} = \left(1 - \frac{\rho_{nm}}{\rho_n}\right) \cdot 100, \quad (6.6)$$

где  $\rho_{nm}$  – насыпная плотность песка, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_n$  – истинная плотность песка, кг/м<sup>3</sup>

В песке с правильным зерновым составом пустотность не превышает 38%, в песке удовлетворительного качества не более 40%.

Заключение о качестве песка \_\_\_\_\_.

## 6.2. Испытание щебня (гравия) из плотных горных пород

Щебень и гравий для бетонов (ГОСТ 8267-93, 10260-82, 26633-91) – представляет собой рыхлую смесь зерен размером от 5(3) до 150 мм.

- 1) Щебень получают дроблением плотных горных пород или искусственного камня, имеет угловатую форму.
- 2) Гравий образовался выветриванием горных пород и имеет окатанную форму. Часто он залегает вместе с песком, при содержании песка 25-40% материал называется гравийно-песчаной смесью.

Для бетонов невысоких классов лучше в качестве крупного заполнителя применять гравий, так как его зерна имеют гладкую поверхность, окатанную форму, и водопотребность смеси на гравии будет меньше. С увеличением класса бетона целесообразнее применять щебень, так в этом случае определяющим фактором становится величина сцепления заполнителя с цементным камнем, которая зависит от формы и шероховатости поверхности зерен.

### 6.2.1. Определение зернового состава щебня (гравия)

Крупный заполнитель на предприятия и стройки может поступать как в виде отдельных фракций 5(3)...10; 10...20; 20...40; 40...70 мм (для бетона массивных сооружений более 70), так и в виде смеси фракций или нефракционированный.

Фракцией считают зерна заполнителей, которые проходят через более крупное и остаются на более мелком из 2-х сит, находящихся рядом в стандартном наборе, т.е. выделяемые этими двумя ситами из пробы заполнителя. Отсеянные фракции размером менее 5 (3) мм используют в качестве песка.

Зерновой состав каждой фракции или смеси фракций щебня должен находиться в определённых пределах, чтобы обеспечить наибольшую плотность укладки зерен. Для фракций от 5...10 до 40...70, а также смеси фракций 5(10)...40 и 20...70 эти пределы указаны в таблице 6.5.

Таблица 6.5.

Зерновой состав щебня

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	d	0,5(d+D)	D	1,25D
Полные остатки на ситах, % по массе	90...100	30...80	0...10	0...0,5

Материалы и оборудование: средняя проба щебня массой 80 кг для фракций 5(10)...40 мм, весы технические, сита с размерами отверстий 70, 40, 20, 10 и 5 мм из стандартного набора.

Выполнение работы. Из предварительно высушенной до постоянной массы средней пробы щебня берут пробу массой 20 кг для фракций 5(10)...40 мм и просеивают через стандартный набор сит, составленных последовательно. Остатки на каждом сите взвешивают и определяют частные и полные остатки на ситах в процентах (аналогично п. 6.1.1).

За наибольшую крупность зерен щебня  $D$  принимают размер отверстий верхнего сита, полный остаток на котором не превышает 10%; за наименьшую крупность зерен щебня  $d$  принимают размер отверстий нижнего сита, полный остаток на котором составляет не менее 90%.

Полученные данные записывают в таблицу 6.6, и на графике зернового состава (рис. 6.2) строят кривую просеивания.

Таблица 6.6.

Определение зернового состава щебня

Остатки на сите	Размеры отверстий сит					Прошло через сито 5 мм
	70	40	20	10	5	
Частные, г						
Частные, %						
Полные, %						

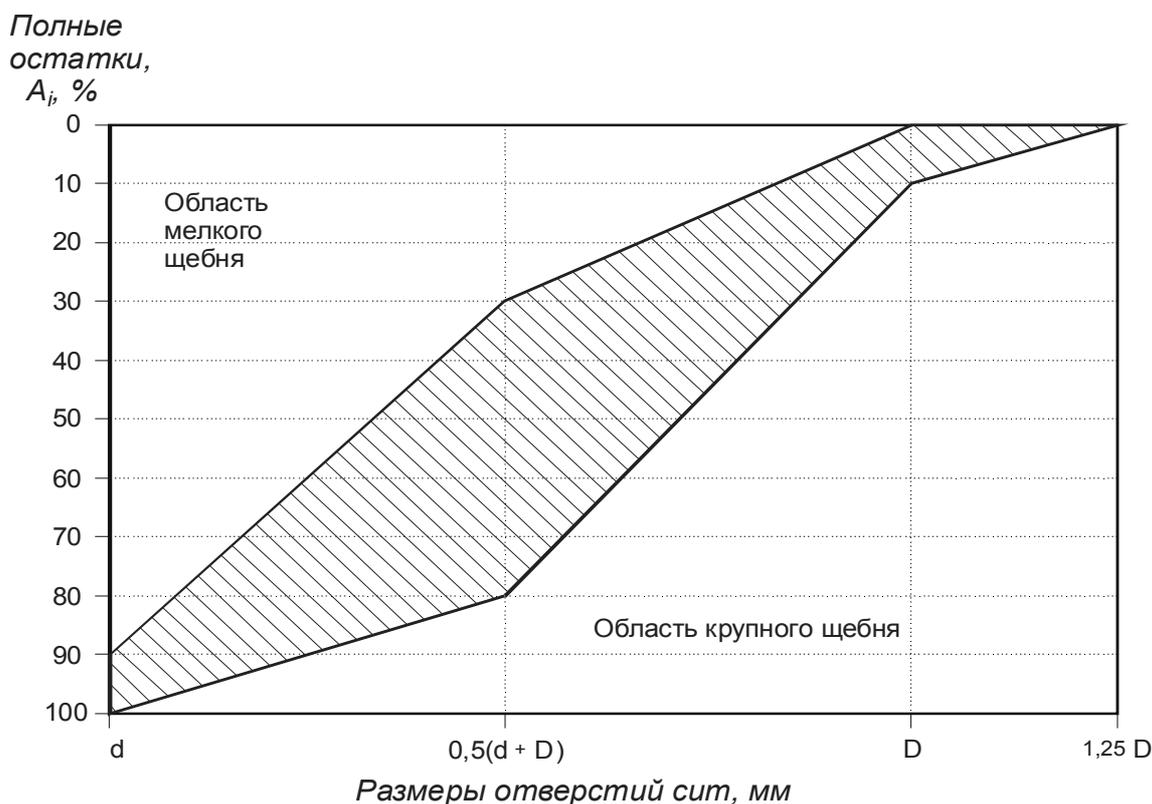


Рис. 6.2. График зернового состава щебня.

Заключение о качестве щебня (гравия): \_\_\_\_\_

### 6.2.2. Определение средней плотности зерен щебня (гравия)

Щебень (гравий) из плотных пород должны иметь среднюю плотность зерен 2000...2800 кг/м<sup>3</sup>. Значение средней плотности требуется при подборе состава бетона и вычислении пустотности.

Материалы и оборудование: проба щебня, весы технические, мерный цилиндр, сосуд для насыщения щебня водой, вода, мягкая ткань, объёммер.

Выполнение работы. Предварительно высушенную до постоянной массы пробу щебня взвешивают с точностью до 0.1 г. В сосуд для насыщения наливают воду и затем туда погружают взвешенный щебень. Уровень воды должен быть выше уровня щебня не менее чем на 20 мм. После водонасыщения щебень вынимают из воды, удаляют воду с поверхности зерен мягкой влажной тканью и осторожно всыпают в подготовленный объёммер с водой. Вытесненную щебнем воду собирают в мерный цилиндр и определяют её объём, который соответствует объёму зерен щебня.

Среднюю плотность зерен щебня  $\rho_c$  (кг/см<sup>3</sup>) вычисляют по формуле:

$$\rho_c = \frac{m}{V}, \quad (6.7)$$

где  $m$  — масса щебня до начала испытаний, г;

$V$  — объём вытесненной воды, равный объёму зерен щебня, см<sup>3</sup>.

Испытание выполняют дважды на новой навеске щебня. Среднюю плотность вычисляют как среднее арифметическое результатов двух испытаний, при этом расхождение должно быть не более 0.02 г/см<sup>3</sup>.

Результаты испытаний записывают в таблицу 6.7.

Таблица 6.7

## Определение средней плотности зерен щебня

Показатель	Номер испытаний	
	1	2
Масса сухого щебня, г		
Объем воды (зерен щебня), см <sup>3</sup>		
Средняя плотность зерен навески щебня $\rho_c$ , кг/см <sup>3</sup>		
Средняя плотность зерен щебня $\rho_c$ , кг/см <sup>3</sup>		

**6.2.3. Определение насыпной плотности щебня**

**Материалы и оборудование:** проба щебня массой 10 кг, весы циферблатные, мерные цилиндры объемом 5, 10, 20 и 50 л, соответственно при наибольшей крупности зерен до 10, 20, 40 и более 40 мм, металлическая линейка.

**Выполнение работы.** Предварительно высушенный до постоянной массы щебень засыпают с высоты 10 мм в подобранный в зависимости от наибольшей крупности щебня и предварительно взвешенный цилиндр с щебнем до образования конуса. Затем конус срезают вровень с краями цилиндра, не допуская уплотнения щебня, и взвешивают цилиндр вместе с материалом.

Насыпную плотность щебня  $\rho_{нц}$  определяют с точностью до 10 кг/м<sup>3</sup> по формуле:

$$\rho_{нц} = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (6.8)$$

где  $m$  — масса мерного цилиндра, кг;

$m_1$  — масса мерного цилиндра со щебнем, кг;

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

Определение насыпной плотности производят дважды, каждый раз на новой порции щебня. За насыпную плотность зерен щебня принимают среднее арифметическое двух определений.

Результаты испытаний записывают в таблицу 6.8.

Таблица 6.8.

## Определение насыпной плотности щебня

Показатель	Номер испытаний	
	1	2
Масса пустого мерного сосуда $m$ , кг		
Масса мерного сосуда со щебнем $m_1$ , кг		
Объем сосуда $V$ , м <sup>3</sup>		
Насыпная плотность щебня $\rho_{нц}$ , кг/м <sup>3</sup>		
Среднее значение насыпной плотности щебня $\rho_{нц}$ , кг/м <sup>3</sup>		

**6.2.4. Определение пустотности щебня**

Пустотность щебня, % определяют по формуле:

$$V_{II} = \left(1 - \frac{\rho_{нц}}{\rho_c}\right) \cdot 100, \quad (6.9)$$

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

$\rho_c$  - средняя плотность зёрен щебня, кг/м<sup>3</sup>.

В щебне с правильным зерновым составом пустотность не превышает 42%, в щебне удовлетворительного качества — не более 44%.

Заключение о качестве щебня \_\_\_\_\_.

### **6.2.5. Определение содержания пластинчатых (лещадных) и игловатых зерен**

К зернам пластинчатой и игловатой формы относят такие, толщина или ширина которых меньше длины в три и более раза. Содержание таких зерен ограничивают, т.к. они ухудшают удобоукладываемость и снижают прочность, увеличивают расход вяжущего. Для всех видов тяжелого бетона должен применяться щебень с содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в количестве не более 35% по массе. Щебень с содержанием зерен неправильной формы до 35% называется обычным; до 25% — улучшенным и до 15% — кубовидным.

Материалы и оборудование: средняя проба щебня 0.25 кг, 1 кг, 5 кг, 15 кг и 35 кг, соответственно для фракций 5-10, 10-20, 20-40, 40-70 и более 75 мм, весы, штангенциркуль или шаблон, стандартный набор сит.

Выполнение работы. Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы определяют для каждой фракции в отдельности, для этого щебень при необходимости фракционируют. Если какой-либо фракции менее 5%, то в ней не определяют содержание пластинчатых и игловатых зерен.

Из пробы щебня каждой фракции визуально отбирают пластинчатые и игловатые зерна. В сомнительных случаях размеры определяют штангенциркулем или шаблоном.

Содержание пластинчатых и игловатых зерен  $\Pi, \%$  для каждой фракции вычисляют по формуле:

$$\Pi = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \quad (6.10)$$

где  $m$  – масса зерен каждой фракции, г;

$m_1$  - масса зерен пластинчатой и игловатой формы, г.

Содержание указанных зерен в пробе щебня определяют как среднее арифметическое всех определений по фракциям.

Результаты испытаний записывают с таблицу 6.9.

Таблица 6.9

Определение содержания пластинчатых и игловатых зерен

Показатель	Номер испытаний		
	1	2	3
Масса зерен каждой фракции $m$ , г			
Масса зерен пластинчатой и игловатой формы $m_1$ , г			
Содержание пластинчатых и игловатых зерен во фракциях $\Pi$ , %			
Содержание пластинчатых и игловатых зерен в пробе $\Pi$ , %			

Заключение о качестве щебня \_\_\_\_\_

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы: Учеб. для вузов.— М.: Стройиздат, 1986.— 688 с.
2. Киреева Ю.И., Лазаренко О.В. Строительные материалы и изделия.— Мн.: Дизайн ПРО, 2001.— 272 с.
3. Комар А.Г., Баженов Ю.М., Сулименко Л.М. Технология производства строительных материалов.— М.: «Высшая школа», 1990.— 446 с.
4. Попов К.Н., Шмурнов И.К. Физико-механические испытания строительных материалов: Учеб. для подгот. рабочих на пр-ве— М.: Высш. школа, 1989.— 239 с.
5. Попов Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов: Учеб. пособие.— М.: Высш. школа, 1984.— 168 с.
6. Общий курс строительных материалов: Учеб. пособие для строит. спец. вузов / И.А. Рыбьев, Т.И. Арефьева, Н.С.Баскаков и др.; Под. ред. И.А. Рыбьева.— М.: Выш. школа, 1987.— 584 с.
7. Строительные материалы: Учеб. для вузов / В.Г. Микульский, В.Н. Куприянов, Г.П.Сахаров и др.; Под. ред. В.Г. Микульского.— М.: Изд. АСВ, 2000.— 536с.
8. Строительные материалы: Справочник / Под общ. ред. Е.Н. Штанова.— Нижний Новгород: Изд. «Вента-2», 1995.— 230 с.
9. Чубуков В.Н., Основин В.Н., Шуляков Л.В. Строительные материалы и изделия.— Мн.: Дизайн ПРО, 2000.— 240 с.

### СТАНДАРТЫ ПО ИСПЫТАНИЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

- СТБ 4.206-94. Материалы стеновые каменные. Номенклатура показателей.
- СТБ 1160-99. Кирпич и камни керамические. Технические условия.
- ГОСТ 7025-91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.
- ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.
- ГОСТ 9179-77. Известь строительная. Технические условия.
- ГОСТ 22688-77. Известь строительная. Методы испытаний.
- ГОСТ 125-79. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
- ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
- ГОСТ 310.1-76. Цементы. Методы испытаний. Общие положения.
- ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помола.
- ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.
- ГОСТ 6139-91. Песок стандартный для испытаний цемента.
- ГОСТ 310.4-76. Цементы. Методы определения предела прочности при сжатии и изгибе.
- ГОСТ 10178-85\*. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
- ГОСТ 30515-97. Цементы. Общие технические условия.
- ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия.
- ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний.
- СТБ 8267-93. Щебень и гравий из плотных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Технические условия.
- ГОСТ 8269-97. Щебень и гравий из плотных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.

Учебное издание

Шалобыта Татьяна Петровна  
Марчук Виталий Алексеевич

# **ИСПЫТАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

*Лабораторный практикум*

**Часть 1**

Редактор: Строкач Т.В.  
Корректор: Никитчик Е.В.

Издательская лицензия ЛВ № 382 от 1.09.2000 г.

Подписано к печати 8.12.2003 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Arial.  
Бумага писчая. Усл. п. л. 3.7. Уч. изд. л. 4.0. Тираж 120 экз. Заказ № 933.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский  
государственный технический университет».  
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Полиграфическая лицензия ЛП № 178 от 14.01.2003 г.