

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства  
Кафедра «Строительство, строительные материалы и конструкции»

Утверждено на заседании кафедры  
«Строительство, строительные материалы и  
конструкции»  
« 18 » января 2022 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой



А.А. Трещев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине (модулю)  
«Архитектурное материаловедение»**

**основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**07.03.01 Архитектура**

с направленностью (профилем)  
**Архитектура**

Формы обучения: очная, очно-заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 070301-01-22

Тула 2022 год

**Разработчик методических указаний**

Сергеева С.Б., канд. техн. наук  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

## Содержание

1. Определение основных физических свойств строительных материалов (истинной плотности, средней плотности, насыпной плотности, пористости, водопоглощения)	4
2. Изучение макроскопического и микроскопического строения древесины. Определение влажности древесины. Определение плотности древесины. Изучение пороков	19
3. Изучение коллекции главных породообразующих минералов. Изучение коллекции горных пород	28
4. Исследование основных свойств строительного гипса (нормальной густоты гипсового теста, сроков схватывания гипсового теста, прочности гипсового камня)	32
5. Исследование основных свойств портландцемента (нормальной густоты, сроков схватывания, равномерности изменения объема цементного теста, определение марки)	40
6. Исследование зернового состава мелкого и крупного заполнителей. Определение модуля крупности песка. Определение марки щебня	49
7. Расчет ориентировочного состава тяжелого бетона	57
8. Приготовление бетонной смеси с заданными характеристиками. Определение марки и класса бетона	61
9. Оценка качества кирпича по внешнему осмотру и обмеру. Определение марки кирпича	76
10. Исследование лакокрасочных материалов и их составляющих (определение укрывистости, определение прочности пленки на изгиб, определение вязкости красочного состава)	82
11. Битумные вяжущие вещества (определение дуктильности, пенетрации и температуры размягчения битума)	85
12. Основная литература	90

# 1. Определение основных физических свойств строительных материалов (истинной плотности, средней плотности, насыпной плотности, пористости, водопоглощения).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ

Цель и задачи работы – изучение методики определения истинной плотности строительных материалов.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: весы по ГОСТ 24104–88, шкаф сушильный, сито №02, фарфоровая ступа, эксикатор, прибор Ле Шателье, стеклянный сосуд, воронка загрузочная

### Общие положения (теоретические сведения)

Истинной плотностью материала называют физическую величину, равную отношению массы материала к его объему в абсолютно плотном состоянии. Истинную плотность материала  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, определяют по формуле:

$$\rho = m / V,$$

где  $m$  – масса материала, кг;

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

### Задание на работу (рабочее задание)

В условиях учебной лаборатории, применяя весы по ГОСТ 24104–88, шкаф сушильный, сито №02, фарфоровую ступку, эксикатор, прибор Ле Шателье, стеклянный сосуд, воронку загрузочную определить истинную плотность: речного кварцевого песка, известнякового щебня, кирпича керамического.

### Ход работы (порядок выполнения работы)

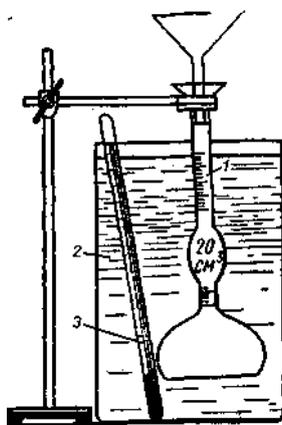


Рис.1.1

Объемомер

Ле Шателье

1

объемомер;

Для определения истинной плотности каменного материала из отобранной и тщательно перемешанной средней пробы отвешивают 200–220 г. Кусочки отобранной пробы материала сушат в сушильном шкафу при температуре  $110 \pm 5$  °С до постоянной массы; затем их тонко измельчают в агатовой или фарфоровой ступке. Полученный порошок просеивают через сито с сеткой № 02 (размер ячейки в свету 0,2x0,2 мм). Отвесив в фарфоровой чашке навеску около 180 г просеянного порошка, его снова высушивают, а затем охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе, где порошок хранят до проведения испытания.

Истинную плотность твердого материала определяют при помощи объемомера Ле Шателье (рис. 1.1), который представляет собой стеклянную колбу объемом 120 – 150 см<sup>3</sup> с узкой шейкой, несколько расширяющейся в средней части. На шейке колбы выше и ниже шаровидного уширения нанесены две черты, объем между которыми равен 20 см<sup>3</sup>. Шейка градуирована, цена деления 0,1 см<sup>3</sup>.

Объемомер наполняют до нижней нулевой черты жидкостью, инертной по отношению к порошку материала: водой, безводным керосином или спиртом. После этого свободную от жидкости часть (выше нулевой черты) тщательно протирают тампоном из фильтровальной бумаги. Затем объемомер помещают в стеклянный сосуд с водой, имеющей температуру 20 °С (температура, при которой градуировали его шкалу). В воде объемомер остается все время, пока идет испытание. Чтобы объемомер в этом по-

ложении не всплывал, его закрепляют на штативе так, чтобы вся градуированная часть шейки находилась в воде.

От подготовленной пробы, находящейся в эксикаторе, отвешивают с точностью до 0,01 г на часовом стекле 80 г материала и высыпают его ложечкой через воронку в прибор небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в нем не поднимется до черты с делением 20 см<sup>3</sup> или до черты в пределах верхней градуированной части прибора. Разность между конечным и начальным уровнями жидкости в объемомере показывает объем порошка, всыпанного в прибор. Остаток порошка взвешивают.

Масса порошка, всыпанного в объемомер, будет равна разности между результатами первого и второго взвешивания.

Истинную плотность материала  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляют по формуле:

$$\rho = (m - m_1) / V,$$

Где  $m$  – навеска материала до опыта, кг;

$m_1$  – остаток от навески, кг;

$V$  – объем жидкости, вытесненной навеской материала (объем порошка в объемомере), м<sup>3</sup>.

Истинную плотность материала вычисляют с точностью до 0,01 кг/м<sup>3</sup> как среднее арифметическое двух определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,02 кг/м<sup>3</sup>.

#### Содержание отчета:

Результаты определения истинной плотности материала записывают в журнал для лабораторных и практических работ и сравнивают с данными, приведенными в табл. 1.2.

Таблица 1.1

Результаты определения истинной плотности с помощью объемомера Ле-Шателье

Наименование материала	№ опыта	Первоначальная масса пробы, г	Масса остатка, г	Объём вытесненной жидкости, см <sup>3</sup>	Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	Среднее значение, г/см <sup>3</sup>

Таблица 1.2

#### Истинная и средняя плотности некоторых строительных материалов

Материал	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
Гранит	2800 – 2900	2600 – 2700
Известняк плотный	2400 – 2600	2100 – 2400
Туф вулканический	2600 – 2800	900 – 2100
Кирпич керамический	2600 – 2800	1600 – 1800
Древесина сосны	1550 – 1600	500 – 600
Песок	2600 – 2700	1400 – 1600
Пенопласты	1300 – 1400	20 – 50
Стекло	2400 – 2600	2400 – 2600
Сталь строительная	7800 – 7850	7800 – 7850

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ

Цель и задачи работы – изучение методики определения средней плотности строительных материалов.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: весы по ГОСТ 24104–88, объёмомер, шкаф сушильный, штангенциркуль, эксикатор, металлическая линейка, нить, гидростатические весы, стеклянный сосуд.

### Общие положения (теоретические сведения)

Средней плотностью называют отношение массы материала в естественном состоянии, т.е. вместе с порами и пустотами, к его объему.

Среднюю плотность  $\rho_0$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляют по формуле:

$$\rho_0 = m / V_1,$$

где  $m$  – масса материала, кг;

$V_1$  – объем материала в естественном состоянии, м<sup>3</sup>.

Большинство строительных материалов имеет поры. Чем их больше в единице объема материала, тем меньше его средняя плотность. Для жидкостей и материалов, получаемых из расплавленных масс (стекло, металл), средняя плотность по значению практически равна истинной плотности (см. табл. 1.2)..

От средней плотности материала в значительной мере зависят его физико–механические свойства, например, прочность и теплопроводность. Значение средней плотности материала используют при определении его пористости, массы и размера строительных конструкций, при расчетах транспорта и подъемно–транспортного оборудования.

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

### Задание на работу (рабочее задание)

В условиях учебной лаборатории, применяя весы по ГОСТ 24104–88, объёмомер, шкаф сушильный, штангенциркуль, эксикатор, металлическая линейка, нить, гидростатические весы, стеклянный сосуд, определить среднюю плотность: кирпича керамического, образца тяжелого бетона.

### Ход работы (порядок выполнения работы)

#### **Определение средней плотности образца правильной геометрической формы.**

Для определения средней плотности образца материала могут быть изготовлены в форме куба, параллелепипеда или цилиндра. При этом необходимо учитывать, что для пористых материалов размер образца кубической формы должен быть не менее 100x100x100 мм, а для плотных – не менее 40x40x40 мм. У цилиндрических образцов диаметр и высота должны быть соответственно не менее 70 и 40 мм.

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

При помощи штангенциркуля измеряют размер образца и вычисляют его объем, после чего образец взвешивают на технических весах. Каждую грань образца кубической или близкой к ней формы измеряют в трех местах ( $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, h_1, h_2, h_3$ ) по ширине и высоте, как показано на рис. 1.2, а, и за окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений каждой грани. На каждой из параллельных плоскостей образца цилиндрической

формы проводят два взаимно перпендикулярных диаметра ( $d_1, d_2, d_3, d_4$ ), затем измеряют их; кроме этого, измеряют диаметры средней части цилиндра ( $d_5, d_6$ ) в середине, его высоты (рис. 1.2, б). За окончательный результат принимают среднее арифметическое шести измерений диаметра.

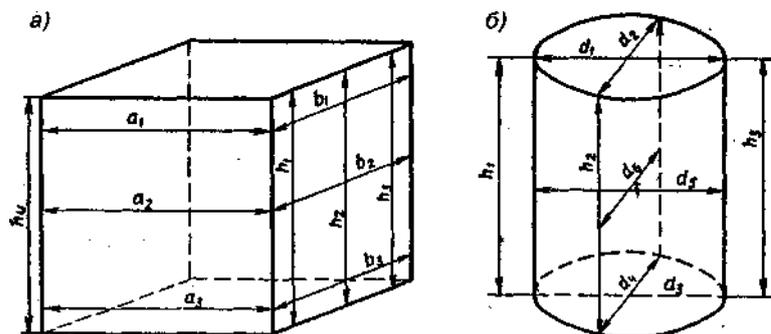


Рис. 1.2. Схема измерения объема образца  
а – кубической формы; б – цилиндрической формы

Высоту цилиндра определяют в четырех местах ( $h_1, h_2, h_3, h_4$ ) и за окончательный результат принимают среднее арифметическое четырех измерений.

Образцы любой формы со стороной размером до 100 мм измеряют с точностью до 0,1 мм, размером 100 мм и более – с точностью до 1 мм. Образцы массой менее 500 г взвешивают с точностью до 0,01 г, а массой 500 г и более – с точностью до 1 г.

Объем образца  $V$ ,  $\text{м}^3$ , имеющего вид куба или параллелепипеда, вычисляют по формуле:

$$V = a_{cp} b_{cp} h_{cp}$$

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

Объем образца  $V$ ,  $\text{м}^3$ , цилиндрической формы вычисляют по формуле:

$$V = (\pi d_{cp}^2 h_{cp}) / 4,$$

где  $\pi = 3,14$ ;

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

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

Зная объем и массу образца, по приведенной ранее формуле определяют его среднюю плотность. Среднюю плотность материала вычисляют как среднее арифметическое трех значений различных образцов.

Содержание отчета: Результаты испытания записывают в таблицу 1.3 и сравнивают с данными, приведенными в табл. 1.2.

Таблица 1.3

Результаты определения средней плотности образцов правильной геометрической формы

Наименование материала	Масса образца, г	Размеры образца, см			Средняя плотность	
		$a$	$b$	$h$	г/см <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>

--	--	--	--	--	--	--

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ

Цель и задачи работы – знакомство с методикой определения насыпной плотности строительных материалов.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: стандартная воронка, мерный цилиндр объемом 1 л., металлическая линейка, весы по ГОСТ24104–88.

### Общие положения (теоретические сведения)

Для сыпучих материалов (цемент, песок, щебень, гравий и др.) определяют насыпную плотность. В объеме таких материалов не только поры в самом материале, но и пустоты между зернами или кусками материала. Это определение выполняют с помощью прибора (рис. 1.5), который представляет собой стандартную воронку в виде усеченного конуса. Внизу конус переходит в трубку диаметром 20 мм с задвижкой. Под трубкой устанавливают заранее взвешенный мерный цилиндр объемом 1 л (1000 см<sup>3</sup>). Расстояние между верхним обрезом цилиндра и задвижкой должно быть 50 мм.

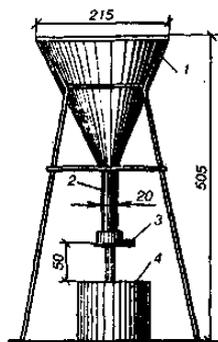


Рис.1.5  
Стандартная воронка  
1 – корпус;  
2 – трубка;  
3 – задвижка;  
4 – мерный цилиндр

### Задание на работу (рабочее задание)

В условиях учебной лаборатории, применяя стандартную воронку, мерный цилиндр объемом 1 л., металлическую линейку, весы по ГОСТ24104–88, определить насыпную плотность песка речного кварцевого и известнякового щебня.

### Ход работы (порядок выполнения работы)

В воронку насыпают сухой исследуемый материал, затем открывают задвижку и заполняют цилиндр с избытком, закрывают задвижку и металлической или деревянной линейкой срезают от середины в обе стороны излишек материала вровень с краями цилиндра. При этом линейку держат наклонно, плотно прижимая к краям цилиндра. Необходимо, чтобы цилиндр был неподвижным, так как при толчках сыпучий материал может уплотниться, что увеличит его среднюю плотность. Затем цилиндр с материалом взвешивают с точностью до 1 г. Испытание повторяют пять раз и среднюю плотность материала в рыхлонасыпном состоянии  $\rho_n$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляют как среднее арифметическое пяти определений, пользуясь формулой:

$$\rho_n = (m_1 - m_2) / V,$$

где  $m_1$  – масса цилиндра с материалом, кг;

$m_2$  – масса цилиндра без материала, кг;

$V$  – объем цилиндра, м<sup>3</sup>.

### Содержание отчета:

Результаты испытаний заносят в таблицу 1.6.

Таблица 1.6

Результаты определения насыпной плотности

Наименование материала	Масса цилиндра с материалом $m_1$ , г	Масса цилиндра без материала	Объем цилиндра $V$ , м <sup>3</sup>	Насыпная плотность материала, г/см <sup>3</sup>

		m <sub>2</sub> , г		

При транспортировании и хранении сыпучие материалы уплотняются, при этом значение их насыпной плотности оказывается на 15–30 % выше, чем в рыхлонасыпном состоянии. Определяют насыпную плотность материала в уплотненном состоянии по приведенной выше методике, однако после заполнения цилиндра материалом его уплотняют путем вибрации в течение 30–60 с на виброплощадке или путем легкого постукивания цилиндра с материалом о стол 30 раз. В процессе уплотнения материал досыпают, поддерживая некоторый избыток его в цилиндре. Затем избыток срезают и определяют массу материала в цилиндре, после чего вычисляют насыпную плотность в уплотненном состоянии.

### **Определение водопоглощения и пористости**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ**

Цель и задачи работы – знакомство с методикой определения пористости строительных материалов.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: весы по ГОСТ 24104–88, объёмомер, шкаф сушильный, штангенциркуль, эксикатор, металлическая линейка, нить, гидростатические весы, сито №02, фарфоровая ступа, прибор Ле Шателье, стеклянный сосуд, воронка загрузочная

#### Общие положения (теоретические сведения)

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

$$P = [1 - (\rho_0 / \rho)] \cdot 100,$$

где P – пористость материала, %;

$\rho_0$  – средняя плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – истинная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

#### Задание на работу (рабочее задание)

В условиях учебной лаборатории определить пористость известнякового щебня.

#### Ход работы (порядок выполнения работы)

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

Содержание отчета: Результаты вычисления пористости материала заносят в таблицу 1.6.

Таблица 1.6

Результаты вычисления пористости материала

Наименование материала	Истинная плотность образца, г/см <sup>3</sup>	Средняя плотность образца, г/см <sup>3</sup>	Общая пористость образца, %


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

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

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

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ

Цель и задачи работы знакомство с методикой определения водопоглощения строительных материалов.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: весы по ГОСТ 24104–88, сушильный шкаф, сосуд с водой.

#### Общие положения (теоретические сведения)

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

Задание на работу (рабочее задание): определить водопоглощение известнякового щебня.

#### Ход работы (порядок выполнения работы)

Водопоглощение по массе  $B_{\text{мас}}$ , %, равно отношению массы воды, поглощенной образцом при насыщении, к массе сухого образца:

$$B_{\text{мас}} = \left[ (m_1 - m) / m \right] \cdot 100,$$

где  $m$  – масса сухого образца, кг;

$m_1$  – масса насыщенного водой образца, кг.

Водопоглощение по объему,  $B_{\text{об}}$ , %, равно массе поглощенной образцом воды при насыщении его, отнесенной к объему образца  $V$ :

$$B_{\text{об}} = \left[ (m_1 - m) / V \right] \cdot 100$$

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

$$\frac{B_{\text{об}}}{B_{\text{мас}}} = \frac{m_1 - m}{V} : \frac{m_1 - m}{m} = \frac{m}{V} = \rho_0$$

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

$$B_{\text{об}} = B_{\text{мас}} \cdot \rho_0$$

Методика определения водопоглощения различных материалов регламентируется соответствующими ГОСТами.

## Содержание отчета:

Результаты опытов заносят в таблицу 1.7.

Таблица 1.7

Результаты определения водопоглощения образца материала

Наименование материала	Масса сухого образца m, г	Масса образца, насыщенного водой, г	Объем образца, см <sup>3</sup>	Водопоглощение образца, %	
				по массе	по объёму

## **2. Изучение макроскопического и микроскопического строения древесины. Определение влажности древесины. Определение плотности древесины. Изучение пороков.**

Изучение макроскопического и микроскопического строения древесины

Цель и задачи работы: пользуясь учебной литературой изучить макро – и микроскопическое строение древесины различных пород.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: учебная литература, микроскоп.

### Общие положения (теоретические сведения)

Растущее дерево состоит из кроны, ствола и корней. Каждая из частей имеет различное применение. Древесину, используемую в качестве строительного материала, дает ствол. Строение древесины, видимое невооруженным глазом или при незначительном увеличении, называют макроструктурой, видимое только при значительном увеличении (в микроскоп) – микроструктурой.

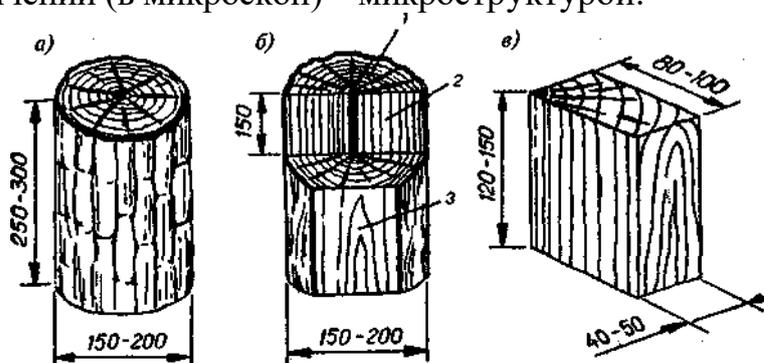
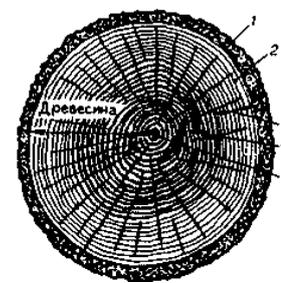


Рис. 2.1. Лабораторные образцы древесины

а – цилиндрический в коре; б– цилиндрический с разрезами; в – призматический

**Макроскопическое строение древесины** изучают с целью распознавания породы древесины, при этом оценивают цвет и поверхность коры, определяют наличие и вид ядра и заболони, степень видимости годовичных слоев и их очертание, различие между ранней и поздней древесиной, наличие прожилок, размеры и распределение сосудов, величину и число вертикальных смоляных ходов, а также текстуру, блеск древесины и пр.

Для изучения макроскопического строения древесины каждой породы должны быть предварительно изготовлены комплекты образцов. Каждый комплект состоит из трех образцов (рис. 2.1), которые предназначены для одной бригады студентов. Хранить



образцы следует в сухом и темном месте, можно и в стеклянном шкафу, но обязательно в мешочке из полиэтиленовой пленки, чтобы сохранить их естественную свежесть и цвет.

Обычно ствол дерева рассматривают на трех основных разрезах: поперечном (торцевом), радиальном продольном (по диаметру или радиусу) и тангентальном продольном (по хорде).

При рассмотрении поперечного разреза ствола дерева (рис. 2.2) невооруженным глазом или с помощью лупы можно обнаружить следующие основные его части: кору, камбий, заболонь, ядро и сердцевину.

Кора защищает дерево от механических воздействий, она состоит из двух слоев – наружного (корки) и внутреннего (луба).

По лубяному слою в растущем дереве движутся питательные вещества. Камбий находится между древесиной и корой; он состоит из живых клеток и имеет важное значение в процессе роста дерева. Слои камбия откладывает в сторону луба лубяные клетки, а к центру – клетки древесины, причем количество, откладываемых клеток древесины больше, чем число клеток луба.

Древесина состоит из ряда концентрических слоев, называемых годовыми кольцами, которые светлее к поверхности ствола и темнее у центра. Светлая часть древесины называется заболонью, а темная – ядром. Заболонь состоит из молодых живых клеток. В растущем дереве по заболони движется влага с растворенными в ней минеральными веществами. Ядро состоит из мертвых клеток и не принимает участия в физиологических процессах, но обеспечивает прочность стволу дерева. В зависимости от наличия ядра и заболони древесные породы делят на ядровые (сосна, дуб, лиственница, кедр) и заболонные, не имеющие ядра (береза, осина, ольха, липа). Древесные породы, имеющие в поперечном сечении одинаковую окраску и содержащие различное количество влаги в центральной и периферической частях, называют спелодревесными породами (ель, бук, пихта).

Серцевина представляет собой слабую ткань первичного образования, которая легко поддается загниванию. На радиальном и тангентальном разрезах ствола; например сосны, лиственницы, отчетливо видны годовые слои, причем на радиальном они имеют вид прямых или наклонных линий, а на тангентальном – вид параболических кривых. На поперечном разрезе годовые слои имеют вид концентрических колец. Каждый годичный слой состоит из двух различаемых глазом зон: внутренней светлой – ранней, образовавшейся весной, и наружной темной – поздней, образовавшейся к концу лета. Ранняя древесина более пористая и слабая, чем летняя. В зависимости от условий роста годовые слои бывают различной ширины. Однако прочность древесины зависит не от ширины годичного слоя, а от степени развитости поздней древесины. Чем выше содержание в годичных слоях поздней древесины, тем прочнее материал. В древесине лиственных пород имеются мелкие и крупные сосуды, идущие вдоль ствола, по которым в растущем дереве передвигается влага от корней к кроне. По распределению сосудов в поперечном сечении лиственные породы разделяют на кольце-сосудистые (дуб, вяз, ясень и др.) и рассеянно-сосудистые (бук, береза, липа, осина и др.).

На поперечном разрезе ствола дуба, бука, клена и других пород заметны узкие радиальные линии, так называемые сердцевинные лучи, направленные от коры к сердцевине; на радиальном разрезе они имеют вид широких и узких лент, а на

Рис. 2.2. Торцевой разрез ствола дерева  
1 – кора; 2 – камбий;  
3 – заболонь; 4 – сердцевина; 5 –

тангентальном разрезе—вид коротких, слегка утолщенных штрихов. В растущем дереве сердцевинные лучи служат для перемещения влаги и питательных веществ.

Хвойные породы имеют смоляные ходы, расположенные в продольном и поперечном направлениях; в них сосредоточивается смола. Смоляные ходы на торцевом разрезе имеют вид светлых точек в поздней части годичного слоя, а на радиальном и тангентальном разрезах – вид темных черточек.

Ниже приведены характерные признаки древесины основных пород.

**Сосна** – годичные слои хорошо видны, заболонь широкая, смоляные ходы довольно крупные и многочисленные.

**Ель** – ядра нет, древесина белого цвета, имеются смоляные ходы разного диаметра.

**Лиственница** – резко выражена разница между ранней и поздней древесиной годичных слоев, благодаря чему годичные слои весьма четкие, заболонь узкая, смоляные ходы мелкие и немногочисленные.

**Дуб** – кольцесосудистая порода, имеющая широкие сердцевинные лучи, мелкие сосуды в поздней зоне образуют радиальные группы –\* язычки; заболонь узкая, резко ограниченная.

**Ясень** – сердцевинные лучи на радиальном разрезе очень узкие, невидимые, мелкие сосуды в поздней зоне объединены в группы в виде точек и коротких черточек, у внешней границы широких годичных слоев мелкие сосуды образуют короткие волнистые линии; заболонь широкая, резко ограниченная, ядро светло–бурого цвета.

**Береза** – наиболее характерным признаком являются часто встречающиеся сердцевинные повторения; древесина белая с легким красноватым или буроватым оттенком, средней массы и твердости; сердцевинные лучи видны только на торцевом разрезе.

**Осина** – древесина белая, легкая, довольно мягкая, сердцевинные лучи не видны ни на одном разрезе.

**Липа** – древесина белая, мягкая, сердцевинные лучи узкие и видны на поперечном и радиальном разрезах.

**Микроскопическое строение древесины** изучают на типичных представителях трех основных групп пород древесины. Например, микроскопическое строение хвойных пород изучают на готовых срезах древесины сосны, лиственных кольцесосудистых пород – на срезах древесины дуба, лиственных рассеянно–сосудистых – на срезах древесины березы.

Поперечный и тангентальный срезы древесины рассматривают при увеличении приблизительно в 100 раз, а радиальный – в 200–300 раз. Для этой цели можно использовать микроскопы: биологический МБИ–1 с общим увеличением от 56 до 1350 раз, школьный МШ–1, упрощенный МУ и студенческий МА с общим увеличением от 80 до 600 раз. Микроскопы МШ–1, МУ и МА просты в обращении и дают хорошие результаты наблюдений.

Перед началом занятий студенты должны ознакомиться по инструкции с оптической схемой и устройством микроскопа, расположением винтов грубой наводки и точной фокусировки.

Качество изображения препарата, рассматриваемого в микроскоп, зависит от освещения, которое может быть естественным и искусственным. В учебной лаборатории техникума препараты рекомендуется рассматривать при дневном

освещении. Микроскоп устанавливают на массивный стол так, чтобы зеркало было обращено к окну. Прямые солнечные лучи не должны попадать в микроскоп. Подобранные объективы и окуляр вставляют в тубус микроскопа. Повертывая зеркало в разные стороны, добиваются яркого освещения поля зрения.

Препарат помещают на предметный столик микроскопа и закрепляют его пружинными клеммами так, чтобы изучаемый объект был в центре поля зрения. При фокусировке тубус нужно опускать осторожно, не касаясь объективом препарата (в противном случае препарат может быть раздавлен). Как только появится ясное изображение предмета, начинают точную фокусировку микроскопа микрометрическими винтами. Достигнув четкого и ясного изображения препарата, приступают к изучению микроскопического строения древесины.

Наблюдая под микроскопом строение древесины сосны, сравнивают ее с изображением на схеме (рис. 2.3). При изучении микроскопического строения древесины сосны в поперечном разрезе обращают внимание на границу между годичными слоями, на ранние и поздние трахеиды, сердцевинные лучи и вертикальные смоляные ходы.

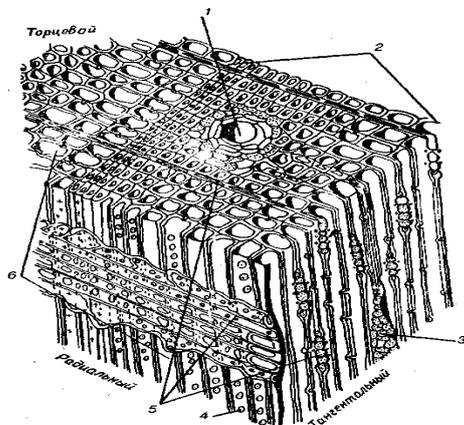


Рис. 2.3. Схема микроскопического строения древесины сосны

1 – вертикальный смоляной ход; 2 – годичный слой; 3 – многорядный луч; 4 – поры; 5 – сердцевинные лучи; 6 – ранние трахеиды

На разрезе трахеиды, которые занимают значительную часть древесины, имеют вид клеток квадратной или прямоугольной формы, расположенных радиальными рядами. В пределах годичного слоя различают ранние (образующиеся весной и в начале лета) и поздние (образующиеся в конце лета и осенью) трахеиды. Ранние трахеиды – с тонкими стенками и широкой полостью – проводящие клетки. Поздние трахеиды – с толстыми стенками и малой полостью – механические ткани. Сердцевинные лучи направлены поперек годичных слоев и имеют вид узких радиальных полосок. Вертикальные смоляные ходы представляют собой каналы, направленные вдоль трахеид.

В радиальном разрезе сосны трахеиды имеют вид длинных волокон, на стенках которых хорошо видны окаймленные поры в виде концентрических окружностей.

Узкие сердцевинные лучи видны хорошо; они длинными полосами пересекают трахеиды.

На тангентальном разрезе сосны трахеиды – длинные волокна преимущественно с гладкими стенками. Сердцевинные лучи имеют вид вертикальных цепочек и по высоте луча состоят из нескольких рядов клеток. Параллельно трахеидам проходят вертикальные смоляные ходы. Хорошо заметны

горизонтальные смоляные ходы, они идут только по сердцевинным лучам и на тангентальном срезе представлены поперечным сечением.

Микроскопическое строение древесины лиственных пород изучают на образцах типичных лиственных кольцесосудистых – дуба, и рассеяно–сосудистых – березы (рис. 2.4).

При изучении микроскопического строения древесины дуба (рис. 2.4, а) на поперечном разрезе обращают внимание на границу между годичными слоями, крупные и мелкие сосуды, широкие и узкие сердцевинные лучи, волокна либриформа и древесную паренхиму.

На радиальном разрезе дуба хорошо различимы под микроскопом границы между годичными слоями. Следует обратить внимание на сосуды и их группировку, сердцевинные лучи, волокна либриформа и паренхимные клетки, вид сердцевинных лучей, на тангентальном разрезе – на форму широких и узких сердцевинных лучей, вид сосудов, волокон либриформа и паренхима.

При изучении микроскопического строения древесины березы (рис. 2.4, б) на поперечном разрезе обращают внимание на границу между годичными слоями, сосуды и их группировку, на сердцевинные лучи, волокна либриформа и клетки древесины паренхимы. Наблюдают на радиальном разрезе сосуды и тип перфораций в них, волокна либриформа и паренхимные клетки, вид сердцевинных лучей, на тангентальном – вид сосудов и пор на их стенках, форму сердцевинных лучей, волокна либриформа и паренхима.

При изучении микроскопического строения древесины данной породы необходимо в журнале для лабораторных и практических работ сделать соответствующие зарисовки строения древесины и сравнить со схемами, представленными на рис. 2.4.

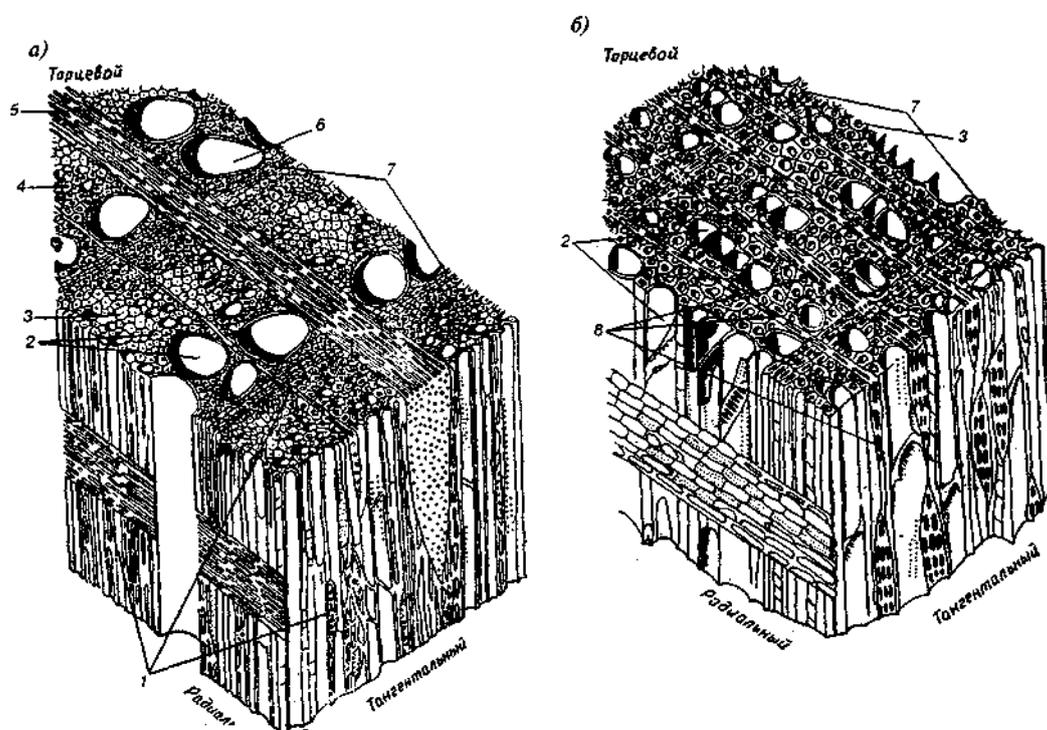


Рис.2.4 Схемы микроскопического строения древесины дуба (а) и березы (б)

1 – узкие сердцевинные лучи; 2 – сосуды; 3 – либриформ; 4 – мелкий сосуд поздней древесины; 5 – широкий сердцевинный луч; 6 – сосуд ранней древесины; 7 – годичный слой; 8 – сердцевинные лучи

Задание на работу (рабочее задание): 1. Для изучения макроскопического строения древесины каждой породы должны быть предварительно изготовлены комплекты образцов. Каждый комплект состоит из трех образцов, которые предназначены для одной бригады студентов. Хранить образцы следует в сухом и темном месте, можно и в стеклянном шкафу, но обязательно в мешочке из полиэтиленовой пленки, чтобы сохранить их естественную свежесть и цвет. 2. Микроскопическое строение хвойных пород изучают на готовых срезах древесины сосны, лиственных кольцесосудистых пород – на срезах древесины дуба, лиственных рассеянно–сосудистых – на срезах древесины березы.

Содержание отчета:

На основании проведенного изучения образцов древесной породы каждый студент бригады записывает результаты в журнал для лабораторных и практических работ и зарисовывает основные разрезы ствола дерева.

При изучении микроскопического строения древесины данной породы необходимо в журнале для лабораторных работ сделать соответствующие зарисовки строения древесины и сравнить со схемами, представленными на рис. 2.4.

**Определение влажности древесины.**

Влажность древесины определяют в процентах по отношению к массе абсолютно сухого образца. Образец размером 20x20x30 мм очищают от опилок, пыли и помещают в предварительно взвешенный бюкс. Бюкс с образцом взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г и, сняв крышку, ставят в сушильный шкаф, где при температуре 103±2 °С высушивают образец до абсолютно сухого состояния, которое определяют несколькими контрольными взвешиваниями. Образцы мягких пород (сосна, ель, осина и т. п.) взвешивают через 6 ч после начала сушки, твердых (дуб, бук, ясень и т.п.) – через 10 ч. Последующие контрольные взвешивания производят через каждые 2 ч. Сушку заканчивают, когда разность между результатами последних двух взвешиваний будет не больше 0,02 г, после чего бюкс закрывают в сушильном шкафу крышкой и переносят из шкафа в эксикатор, в конусообразную нижнюю часть которого помещают безводный хлористый кальций. Бюкс с образцом ставят на сетку эксикатора и охлаждают до комнатной температуры.

Влажность  $W$  вычисляют с точностью до 0,1 % по формуле:

$$W = \left[ (m_1 - m_2) / (m_2 - m) \right] \cdot 100,$$

где  $m$  – масса пустого бюкса, г;

$m_1$  – масса бюкса с влажным образцом, г;

$m_2$  – то же, с высушенным образцом, г.

В случае, когда древесина длительное время находилась при постоянных температуре и относительной влажности воздуха и не увлажнялась атмосферными осадками, ее влажность (равновесную влажность) можно определить по диаграмме Н. Н. Чулицкого. Например, чтобы определить влажность древесины, хранящейся в помещении при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 60 %, по диаграмме устанавливают, около какой наклонной линии вертикальная линия, соответствующая температуре 20 °С, пересекается с горизонтальной линией, соответствующей влажности 70 %. Это пересечение происходит на линии, соответствующей влажности древесины 13 %.

Содержание отчета:

Результаты опытов заносят в таблицу 2.1

Таблица 2.1

Результаты определения влажности древесины

Маркировка образца	Масса образца, г		Влажность образца, %
	до высушивания $m_1$	после высушивания $m_2$	

### Определение плотности древесины.

Плотность древесины определяют на образцах прямоугольной формы при влажности древесины в момент испытания, в абсолютно сухом состоянии и с условной плотностью.

Определение плотности древесины при влажности в момент испытания выполняют следующим образом. Из ранее изготовленных образцов в виде прямоугольных призм сечением 20x20 мм и высотой (вдоль волокон) 30 мм выбирают образцы. Подлежащие испытанию образцы должны иметь прямые углы и гладко выструганные поверхности. Размеры поперечного сечения и длину ( $a$ ,  $b$  и  $l$ ) измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм по осям симметрии образцов. Объем образца вычисляют с точностью до 0,01 см<sup>3</sup>. Сразу после измерения образец взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г и вычисляют плотность  $\rho_m(W)$ :

$$\rho_m(W) = m_w / V_w,$$

где  $m_w$  – масса образца при влажности  $W$ , г;

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

Найденную плотность пересчитывают на стандартную 12 %-ную влажность древесины:

$$\rho_m(12) = \rho_m(W) [1 + 0.01(1 - K_0)(12 - W)],$$

где  $K_0$  – коэффициент объемной усушки, %;

$W$  – влажность.

Если коэффициент объемной усушки не определялся, то при пересчете для древесины березы, бука и лиственницы значение его берут равным 0,6, а для прочих пород – 0,5.

Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии определяют на тех же образцах, которые затем подсушивают в течение 3 ч при температуре 50 – 60 °С. После этого образцы высушивают в сушильном шкафу, при температуре 103±2 °С до постоянной массы так же, как описано выше (см. определение влажности). Высушенные образцы взвешивают с точностью до 0,01 г и штангенциркулем измеряют размеры поперечного сечения ( $a_0$  и  $b_0$ ) и длину  $l_0$  по осям симметрии образцов.

Плотность древесины в абсолютно "сухом состоянии"  $\rho_0$  вычисляют по формуле:

$$\rho_0 = m_0 / (a_0 \cdot b_0 \cdot l_0),$$

где  $m_0$  – масса образца в абсолютно сухом состоянии, г;

$a_0, b_0, l_0$  – размеры образца, см.

Условная плотность древесины определяется на образцах с влажностью, равной или большей предела гигроскопичности. При этом допускается вымачивать образцы в дистиллированной воде при температуре 10–20 °С до изменения размеров на 0,1 мм. Образцы измеряют, высушивают и взвешивают, как указано выше.

Вычисляют условную плотность древесины с плотностью до 1 кг/м<sup>3</sup> по формуле:

$$\rho_{\text{усл}} = m_0 / (a_{\text{max}} \cdot b_{\text{max}} \cdot l_{\text{max}})$$

где  $m_0$  – масса образца в абсолютно сухом состоянии,

$a_{\text{max}} \cdot b_{\text{max}} \cdot l_{\text{max}}$  – размеры образца при влажности, равной или большей предела гигроскопичности, см.

#### Содержание отчета:

Выполнив определение плотности образцов древесины, результаты необходимо занести в таблицу 2.2 и сравнить со справочными данными, а также сделать вывод о плотности древесины (см. табл. 2.3).

Таблица 2.2

#### Результаты определения плотности древесины

Маркировка образца	Масса образца, г		Размеры образца, см			Объем, см <sup>3</sup>	Влажность $W$ , %	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>		Плотность в абсолютно сухом состоянии, г/см <sup>3</sup>
	при влажности $m_w$	в абсолютном состоянии $m_0$	$a$	$b$	$h$			при влажности $W$	при стандарт. влажности	

Таблица 2.3

Средние значения физико–механических свойств основных хвойных и лиственных пород (при влажности 12%)

Порода дерева	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа				
		вдоль волокон при			поперек волокон при	
		растяжения	сжатия	скалывании радиальном	сжатия радиальном	статическом изгибе
Сосна	500	100	48	7,5	3,6	85
Лиственница	660	125	62	11	4,6	105
Ель	450	120	44	6,8	3,3	80
Кедр	420	78	42	6,7	2,9	78
Пихта	370	70	40	6,5	3,1	70
Дуб	700	130	58	10	7,8	106
Бук	670	130	56	12	8,0	105
Береза	630	125	35	9,2	6,7	110
Осина	480	120	42	6,2	3,7	78

## ИЗУЧЕНИЕ ПОРОКОВ ДРЕВЕСИНЫ

Цель и задачи работы: – изучение видов пороков древесины, снижающих её качество.

Древесина как строительный материал может иметь пороки различных видов, которые снижают ее качество, а иногда делают древесину непригодной для использования как в строительстве, так и в производстве изделий из нее.

Пороки древесины могут быть разделены на две основные группы: возникающие в растущем дереве и в свежесрубленной и мертвой древесине. К первой группе следует отнести пороки, связанные с условиями роста дерева, например, нарушение нормального строения дерева, наличие сучков и т. д.; ко второй; группе – пороки, вызванные внешними факторами и различными грибами, насекомыми и др.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные: студенты при изучении пороков древесины используют основной учебник и данное учебное пособие, а при выполнении лабораторных работ на специально подобранных образцах в виде дощечек подробно изучают сучки и трещины на сортаментах лесоматериалов.

Изучение пороков древесины целесообразно проводить в следующей последовательности: пороки формы ствола и строения древесины, сучки, трещины, химические окраски, грибные поражения древесины, повреждения древесины насекомыми.

Общие положения (теоретические сведения)

**Пороки формы** ствола, как правило, образуются вследствие ненормальных условий роста дерева и климатических воздействий. К основным порокам ствола относят кривизну, сбежистость и закомелистость, которые затрудняют применение круглых лесоматериалов по назначению и усложняют их переработку, снижают сортность древесины, увеличивают количество отходов при распиловке и лущении, а также являются причиной возникновения пороков строения древесины.

*Кривизна* ствола в зависимости от направления изгиба бывает односторонняя и разносторонняя. Она значительно влияет на выход пиломатериала при распиловке бревен, а также оказывает отрицательное влияние на прочность древесины при продольном изгибе в случае применения круглых сортаментов в качестве стоек и других строительных элементов.

*Сбежистость* представляет собой резкое уменьшение диаметра ствола от комля (нижней части) к вершине.

Этот порок наглядно наблюдается у необрезных пиломатериалов в виде ненормального уменьшения – ширины досок по длине, превышающего допустимый предел. Сбежистость увеличивает отходы при распиловке бревен, обуславливает появление радиального наклона волокон в пиломатериалах, а следовательно, и снижение их прочности.

*Закомелистость* проявляется в виде резкого увеличения комлевой части ствола дерева. Различают округлую и ребристую закомелистость со звездчато-лопастной формой поперечного сечения бревна. При распиловке ствола на пиломатериалы закомелистую часть приходится предварительно отпиливать и пускать на дрова.

**Пороки строения древесины** (рис. 2.16) весьма разнообразны. К ним относят наклон волокон (косослой), свилеватость, завиток, крень, пасынок, двойную сердцевину, сухобокость, засмолок, водослой и др.

*Наклон волокон* (косослой) представляет собой не прямолинейность, а винтообразность волокон древесины (рис. 2.16, а) продольной оси изделий (бревен, брусьев, досок и т. п.). Косослойная древесина обладает повышенной величиной усушки и способна в большей степени к короблению.

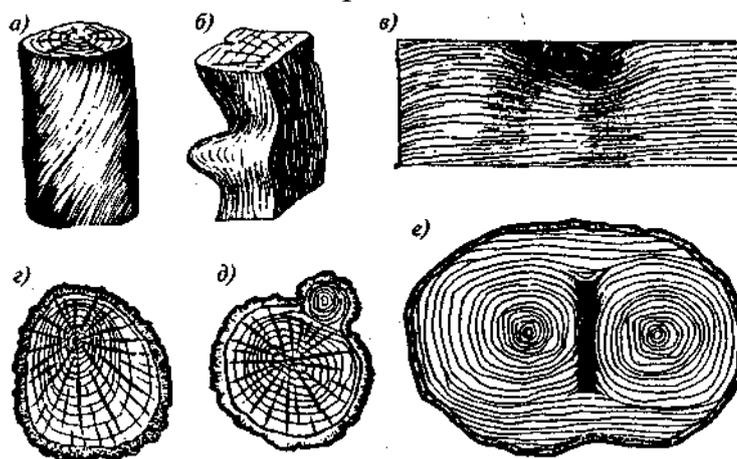


Рис. 2.16. Пороки строения древесины

а – косослой; б – свилеватость; в – завиток; г – крень; д – пасынок; е – двойная сердцевина

левой части ствола. Свилеватость снижает прочность древесины при сжатии, изгибе и растяжении, а также затрудняет обработку древесины (строгание) вследствие возникновения выдиров и отщепов.

*Завиток* (рис. 2.16, в) представляет собой искривление годовых слоев древесины, вызванное сучками. На поверхности пиломатериалов завиток имеет вид скобообразных изогнутых частичек, прорезанных или замкнутых концентрических контуров, образованных искривленными годовыми слоями. Завиток снижает прочность древесины при сжатии вдоль волокон, при статическом изгибе.

*Крень* (рис. 2.16, г) представляет собой резкое утолщение летней древесины, годовичного слоя со значительным повышением его твердости на более узкой стороне и смещением сердцевины. Степень этого порока определяют в процентах по отношению к общей площади торца.

*Пасынок* (рис. 2.16, д) представляет собой толстый, прилегающий к стволу, на значительном протяжении сросшийся с основным стволом сук. Ствол дерева с

пасынком имеет овальную форму. В поперечном разрезе четко виден раздел между стволом и его пасынком. Пасынок резко снижает механические свойства и сортность древесины.

*Двойная сердцевина* (рис. 2.16, *е*) представляет собой ясно видимые в поперечном разрезе ствола дерева две сердцевинки. Снаружи древесного ствола обе сердцевинки окружены сплошными кольцами годового слоя. Этот порок затрудняет переработку (распиловку) древесины, увеличивает количество отходов и склонность к растрескиванию.

*Сухобокость* – одностороннее омертвление ствола, возникающее от ненормальных условий роста дерева или его повреждения. Сухобокость вызывает местное искривление годовых слоев и нарушает правильность формы круглых материалов, что, в свою очередь, снижает выход пиломатериалов.

*Засмолок* – участок древесины, обильно пропитанный смолой. Присущ только хвойным породам. Он затрудняет отделку – лакировку и окраску поверхности древесных изделий.

*Водослой* – участок ядра или спелой древесины с повышенной влажностью и более темной окраской; встречается в комлевой части всех пород, но чаще хвойных. Водослой вызывает растрескивание сортамента.

*Сучки* представляют собой заключенные в древесине ствола живые или отмершие при жизни дерева основания ветвей. Коли чество, размеры и состояние сучков влияют на качество бревен, предназначенных для распиловки. В зависимости от положения на стволе дерева и плоскости разреза при распиловке сучки могут выходить на поверхность пиломатериала в виде круга, овала, клина. Сучки, занимающие участок древесины округлой или овальной формы с самостоятельными концентрическими годовыми слоями, называют округло-овальными (рис. 2.17, *а*).

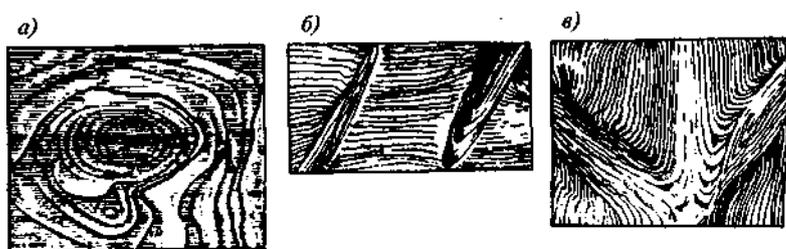


Рис. 2.17. Сучки

а – округло-овальный; б – сшивной; в – лапчатый

При попадании распила вдоль сросшегося сучка получают сшивной сучок (рис. 2.17, *б*), поперек двух рядом расположенных сучков – лапчатый сучок (рис. 2.17, *в*). Различают сучки сквозные, т. е. выходящие на обе противоположные плоскости пиломатериала (доски), и несквозные, выходящие только на одну плоскость доски.

В зависимости от состояния древесины сучка и степени срастания ее с древесиной ствола сучки бывают сросшиеся твердые, частично сросшиеся твердые и несросшиеся (рис. 2.18). Сросшиеся твердые сучки являются остатками отмерших плотно сросшихся с древесиной ветвей, отличающихся от нее лишь по цвету и твердости. Сросшиеся и частично сросшиеся твердые сучки

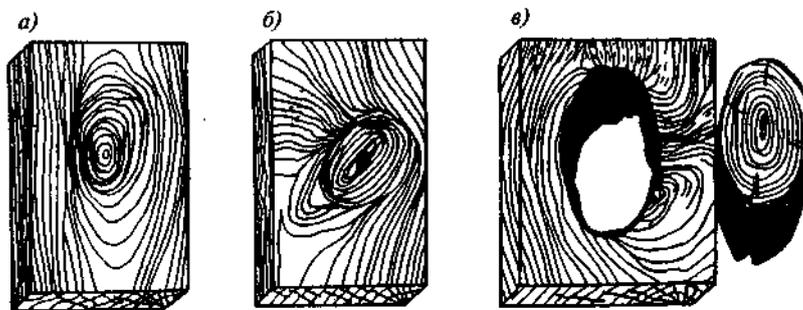


Рис. 2.18. Виды сучков по степени срастания с окружающей древесиной  
*а* – сросшийся здоровый; *б*– сросшийся роговой; *в* – выпадающий

могут быть здоровыми, т. е. не имеющими признаков гнили, окрашенными в более темный цвет, чем остальная древесина, и роговыми. Роговые сучки имеют здоровую древесину, но обильно пропитаны смолой или дубильными веществами, по цвету темнее окружающей древесины. К несросшимся относятся выпадающие твердые сучки, которые не связаны с окружающей его древесиной; они обычно выпадают при высыхании и механической обработке. Рыхлые и табачные сучки представляют собой загнивающие омертвевшие ветви, древесина которых утратила механическую прочность. Табачные сучки при давлении легко превращаются в коричневый порошок.

Сучки ухудшают внешний вид древесины, вызывают искривление волокон и годичных слоев, нарушают однородность строения, а иногда и целостность ее, затрудняют механическую обработку, снижают прочность при растяжении вдоль волокон и изгибе. Табачные сучки указывают на наличие в древесине ядра вой гнили.

Для проведения лабораторных занятий по данной теме необходимо иметь образцы древесины, сортамента лесоматериалов и образцы с сучками различных видов; металлические линейки с ценой деления шкалы 1 мм; плакаты с изображением сучков, альбом пороков древесины, учебный цветной диафильм «Лесные материалы и изделия»; ГОСТ 2140–81 (с изм.); чертежные инструменты.

Приступая к выполнению данной лабораторной работы, студенты должны изучить по настоящему учебному пособию, ГОСТу, плакату, альбому и диафильму классификацию сучков, их основные виды и ознакомиться по стандартным схемам со способами измерения сучков.

Каждой бригаде студентов выдаются образцы с 3–4 разновидностям сучков, которые они должны изучить и измерить, после чего в журнале для лабораторных и практических работ зарисовать их, показать схемы измерения и результаты, а также дать краткое описание порока.

Измерение сучков производят согласно стандартной схеме измерения с помощью металлической линейки. Размеры сучков выражают в миллиметрах или в долях размеров сортамента, подсчитывают их количество в штуках; в круглых лесоматериалах и пилопродукции & на 1 м длины или всю сторону сортамента, в шпоне – на 1 м<sup>2</sup> или всю площадь листа.

**Табачные, загнившие и гнилые сучки** перед измерением зондируют щупом: разрушенная часть загнивших и гнилых сучков бывает не глубже 20–30 мм, а табачных часто достигает середины сортамента.

**Круглые и овальные сучки**, а также не выходящие на ребро продолговатые и разветвленные в пиломатериалах и строганом шпоне измеряют по расстоянию между касательными к контуру сучка, проведенными параллельно оси сортамента, а также по наименьшему диаметру сучка (рис.2.19).

**Сшивные сучки**, а также выходящие на ребро продолговатые и разветвленные сучки в пиломатериалах измеряют по наименьшему диаметру продольного сечения сучка, а также по расстоянию между ребром и касательной к контуру сучка, проведенной параллельно ребру. При этом измерение выполняют на той стороне сортамента, куда выходит поперечное сечение сучка.

**Продолговатые и разветвленные сучки**, выходящие на ребро в пиломатериале, можно измерить также по расстоянию между ребром и касательной к контуру сучка, проведенной параллельно ребру. При этом измерение выполняют на той стороне сортамента, куда выходит продольное сечение сучка. Размеры разветвленных сучков в пиломатериале и строганом шпоне можно определять по сумме размеров составляющих сучков, измеряя каждый по способу, соответствующему его разновидности.

Ребровые сучки в пиломатериалах и строганом шпоне измеряют по расстоянию между ребром и касательной к контуру сучка, проведенной параллельно ребру, а также по протяженности сучка на ребре.

Размеры групповых сучков в пиломатериале и строганом шпоне равны сумме размеров составляющих сучков, выходящих на одну сторону сортамента. При этом каждый сучок измеряют по способу, соответствующему его разновидности.

Результаты изучения данного порока древесины оформляют в журнале для лабораторных и практических работ, где, кроме указанных выше записей, следует сделать выводы о влиянии сучков на качество древесины.



Рис. 2.19.  
Схема измерения сучков

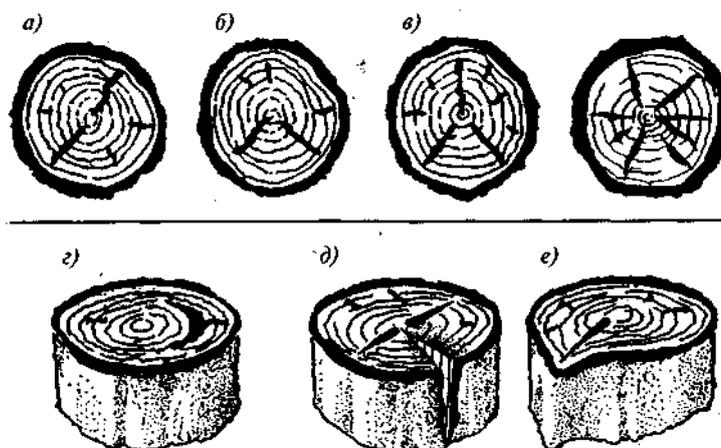


Рис. 2.20. Виды трещин

а – метик простой; б – метик сложный; в – метик крестовой; г – отлуп;  
д – морозобоина открытая; е – морозобоина закрытая

*Трещины.* В этой группе объединены пороки, образование которых связано с наличием внутренних, присущих каждому растущему дереву напряжений, а также напряжений, возникающих в срубленной древесине под влиянием факторов внешней среды. Трещины представляют собой разрыв древесины вдоль волокон; они нарушают однородность древесины, снижают прочность и способствуют образованию гнили. В зависимости от времени и условий появления трещин, а также характера повреждения в круглом лесе и пиломатериалах, различают трещины следующих видов: метик, отлуп, морозобоина, трещины усушки. Трещины нарушают целостность материала и уменьшают механическую прочность древесины, а также снижают процент выхода качественных пиломатериалов и шпона.

Метик – одна или несколько продольных внутренних трещин, проходящих через сердцевину ствола и направленных радиально, но до периферии ствола не доходящих. Метик бывает простой и сложный. Простой метик (рис. 2.20, а) состоит из одной или двух трещин на торце, расположенных по одному диаметру и идущих по длине сортамента в одной плоскости.

Сложный метик состоит из одной или двух трещин на торце, расположенных по одному диаметру и идущих по длине сортамента не в одной плоскости (рис. 2.20, б), а по спирали. Сложный метик может состоять из двух или нескольких трещин на торце, расположенных под углом друг к другу и идущих по длине сортамента не в одной плоскости. Такой метик часто называют крестовым (рис. 2.20, в).

Метик нарушает целостность древесины, что вызывает снижение ее прочности. Простой метик, в отличие от сложного, в меньшей мере снижает сортность пиловочных бревен. В прочих сортаментах метики снижают сортность в зависимости от размера трещин и их расположения.

**Отлуп** – внутренняя трещина, идущая по годовому слою и распространяющаяся на некотором протяжении вдоль сортамента. Наблюдается в круглых сортаментах, чаще на комлевом торце; в виде дугообразной трещины (рис. 2.20, г), не заполненной смолой (частичный отлуп) или в виде кольцеобразной трещины (полный, или кольцевой отлуп). Отлуп образуется под влиянием напряжений, возникающих под воздействием ветра и мороза. Нарушая целостность древесины в пиломатериалах, отлуп портит пласт доски и понижает сортность.

**Морозобоина** – наружная радиальная трещина, возникающая зимой при резком охлаждении ствола. Она чаще всего располагается в комлевой части и идет на значительную глубину до сердцевины. Морозобоина бывает открытой (рис. 2.20, д) и закрытой (рис. 2.20, е). Нарушая целостность древесины и изменяя форму ствола, она может понижать сортность и выход пиломатериалов; кроме того, может способствовать появлению в древесине гнили.

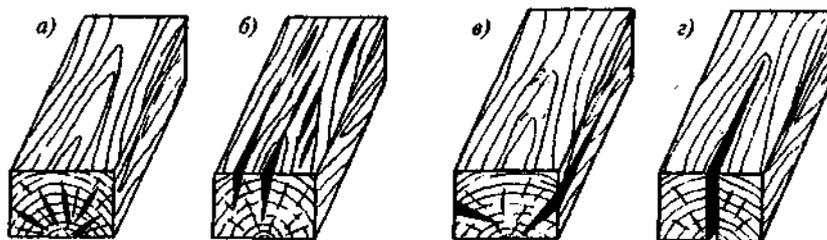


Рис. 2.21. Разновидности трещин усушки в зависимости от положения в сортаменте

Трещины усушки (рис. 2.21) – наружные трещины, появляющиеся в бревнах и пиломатериалах при высыхании древесины. Трещины усушки: торцевые, наблюдающиеся только на торце без выхода на боковую поверхность (рис. 2.21, а) торцевые односторонние (пластовые), наблюдающиеся на торце и выходящие на один пласт сортамента (рис. 2.21, б); кромочные (рис. 2.21, в), торцевые сквозные, наблюдающиеся на торце, причем трещина выходит на оба пласта (на противоположные боковые поверхности, рис. 2.21, г). При этом они нарушают цельность древесины и снижают ее сортность.

Для проведения лабораторных занятий по данной теме необходимо иметь образцы, выпиленные из лесоматериалов (бревен, досок и фанеры) с наличием разнообразных трещин; металлические линейки с ценой деления шкалы 1 мм; метр, щупы, альбом пороков древесины; учебный цветной диафильм «Лесные материалы и изделия»; плакат с изображением основных видов трещин и схем их измерения; ГОСТ 2140–81 (с изм.).

Приступая к выполнению данной лабораторной работы, студенты должны изучить по настоящему учебному пособию, ГОСТу, плакату, альбому и диафильму разновидности трещин и схемы их измерения.

Каждой бригаде студентов выдаются 3–4 образца с различными трещинами, которые они должны изучить, определить разновидность и измерить, после чего в журнале для лабораторных и практических работ зарисовать, записать результаты измерений и дать краткое описание порока трещин.

Боковые трещины измеряют по глубине и длине. Торцевые трещины, кроме трещин усушки, в круглых лесоматериалах измеряют по наименьшей толщине, сердцевинной вырезке, а также по наименьшему диаметру круга, в который они могут быть вписаны, или по наименьшей ширине неповрежденной периферической зоны торца (в линейных мерах или долях диаметра торца). Торцевые трещины усушки в круглых лесоматериалах измеряют по глубине (в линейных мерах или долях диаметра торца), в пиломатериалах – по глубине и протяженности на торце.

Размеры отлупных торцевых трещин определяют (в линейных мерах или долях размера сортамента) по хорде, если трещины занимают менее половины окружности годичного слоя, или по диаметру, если трещина занимает половину или более половины окружности годичного слоя.

#### Содержание отчета:

Результаты изучения данного порока древесины оформляют в журнале для лабораторных и практических работ, где помимо рекомендуемых выше записей следует сделать выводы о влиянии трещин на качество лесоматериалов.

Ненормальные окраски и гнили. Нормальный цвет древесины изменяется в результате биохимических реакций окисления дубильных и красящих веществ, а также под влиянием поселившихся в ней грибов, в результате чего древесина приобретает различную окраску: светлую, темную синеву, выступающие отдельные желтые или бурые пятна.

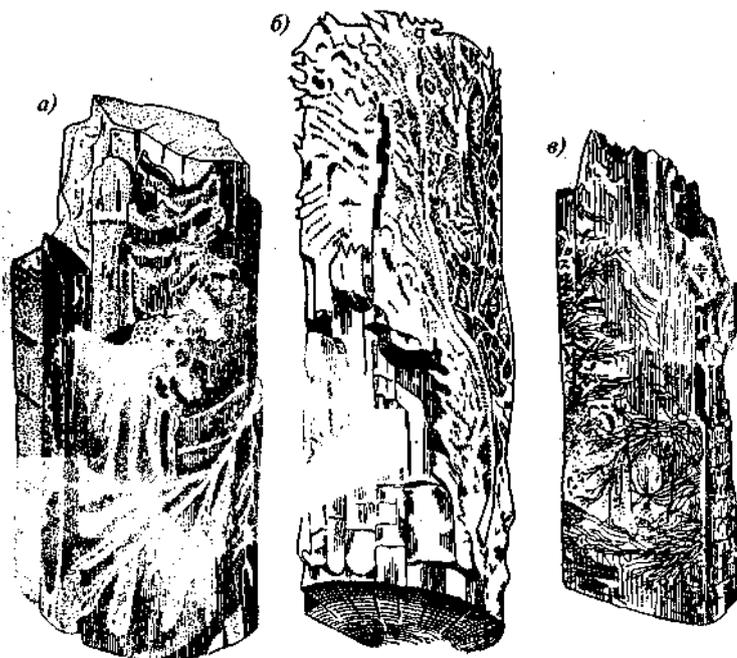


Рис. 2.22. Древесина, пораженная домовыми дереворазрушающими грибами

а – настоящими; б – белыми; в – пленчатыми

Под воздействием грибов древесина либр только окрашивается и ее физико–механические свойства почти не изменяются, либо наряду с изменением цвета происходит существенное снижение физико–механических свойств древесины. Всякий разрушающий древесину гриб вначале вызывает изменение ее окраски а впоследствии и заметное изменение структуры.

Наружные окраски и гнили появляются чаще всего в древесине после срубки дерева в виде заболонной краснины, гнили и мраморной гнили. К внутренним окраскам и гнилям относятся ложное ядро, внутренняя краснина, пятнистость.

Характерный признак заражения древесины грибами – появление на ее поверхности плесневатых налетов гнили, белого пушка или белых нитей.

Наибольшее разрушение древесины вызывают домовые грибы (рис. 2.22). Они разрушают древесные конструкции из всех пород древесины. Чаще других встречается настоящий домовый гриб (рис. 2.22, а), который в благоприятных для своего развития условиях (влажность свыше 25 % и температура окружающего воздуха 18 – 20 °С) сначала вызывает образование бурой гнили, а затем появление в древесине трещин вдоль и поперек волокон. В течение короткого времени деревянные конструкции зданий, пораженные домовыми грибами, могут прийти в аварийное состояние. Опасны для древесины белый домовый и домовый пленчатый грибы.

Другие грибы – разрушители при значительном разнообразии встречаются гораздо реже. При высыхании древесины все грибы погибают и процесс гниения прекращается.

Степень поражения древесины грибом может быть различной. Если в древесине имеются плодовые тела грибов, хорошо развитая грибница и шнуры (гифы), то вид гриба может быть установлен по данным специальных таблиц. В том случае, когда обнаруживают только следы грибницы, следует произвести микроскопический анализ грибницы и древесины.

**Повреждения насекомыми.** Насекомые поражают древесину в периоды роста дерева, хранения на складах и в сооружениях. Они образуют в древесине различные ходы и отверстия, снижающие прочность древесины. Кроме того, насекомые часто заносят в

эти ходы споры грибов. Особенно большой вред древесине приносят жуки–короеды, мебельный, или домовый точильщик, шашель и др.

Жуки–короеды поражают древесину всех пород на корню, образуя неглубокие поверхностные извилистые ходы–борозды. Мебельный, или домовый точильщик, поражает деревянные элементы зданий и сооружений. Признаком точильщика является наличие большого числа мелких круглых отверстий, из которых высыпается древесная мука желтого цвета. Морской червь – шашель – очень быстро разрушает подводные части деревянных портовых сооружений. Проникая в древесину, он проделывает в ней большое количество ходов, в результате чего древесина за короткий срок почти полностью теряет свою прочность.

При изучении повреждения древесины насекомыми необходимо ознакомиться с видами насекомых – разрушителей древесины и измерить величину червотчины. Последняя представляет собой совокупность ходов и отверстий, проделанных в древесине насекомыми и их личинками. Червотчина наблюдается на поверхности лесоматериалов в виде круглых и овальных отверстий или в виде бороздок и канавок. В зависимости от глубины проникания червотчина бывает поверхностная, неглубокая, глубокая и сквозная (рис. 2.23).

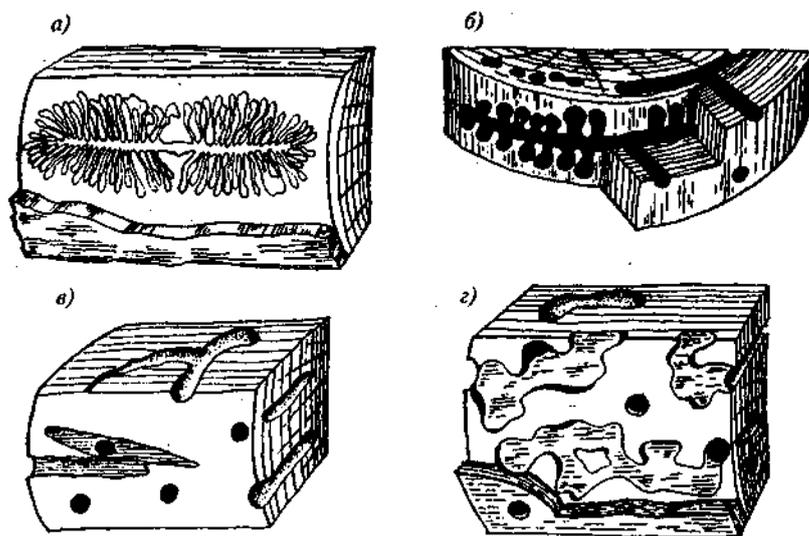


Рис. 2.23. Червотчина

а – поверхностная; б – неглубокая; в – глубокая; г – сквозная

Поверхностная червотчина (рис. 2.23, а) проникает в древесину на глубину до 3 мм, неглубокая (рис. 2.23, б) – на глубину до 15 мм в круглых лесоматериалах и не более 5 мм в пиломатериалах, глубокая (рис. 2.23, в) – на глубину от 15 мм и более в круглых лесоматериалах и более 5 мм в пиломатериалах. Сквозная червотчина (рис. 2.23,г) выходит на две противоположные стороны сортамента.

По размеру отверстий червотчину подразделяют на некрупную и крупную. Некрупная червотчина характеризуется отверстиями диаметром до 3 мм, а крупная – диаметром более 3 мм. Поверхностная червотчина не влияет на механические свойства древесины. Неглубокая и глубокая червотчины нарушают целостность древесины и снижают ее механические свойства.

Червотчину измеряют по наименьшему диаметру, мм, и по количеству, шт.; в круглых лесоматериалах и пилопродукции на 1 м длины или всю сторону сортамента; в шпоне – на 1 м<sup>2</sup> или всю площадь листа.

### 3. Изучение коллекции главных породообразующих минералов. Изучение коллекции горных пород

Природными каменными материалами называют строительные материалы, полученные из горных пород без обработки или в результате применения лишь механической обработки (раскалывание, распиливание, шлифование, полирование и др.). Природные каменные материалы в этом случае полностью сохраняют физико-механические свойства горной породы, из которой они были получены.

Горная порода представляет собой камневидное тело, состоящее из одного или нескольких минералов. Минералы являются природными химическими соединениями, образовавшимися в результате различных физико-химических процессов, происходящих в земной коре. В природе насчитывается более 2000 минералов, но в образовании горных пород участвуют около 50; их называют породообразующими.

#### ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИИ ГЛАВНЫХ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Цель и задачи работы – изучение физико-механических свойств породообразующих минералов (блеска, цвета, плотности, твердости, прочности, стойкости, характера излома).

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: молоток, стальная игла, лупа, металлическая линейка, 10 %-ный раствор соляной кислоты, набор минералов-эталонов.

#### Общие положения (теоретические сведения)

Строительные свойства горных пород определяются химическим составом породообразующих минералов и их основными физико-механическими свойствами. Каждый минерал характеризуется определенным химическим составом и физико-химическими свойствами: блеском, цветом, плотностью, твердостью, прочностью, стойкостью, характером излома и др. Большинство породообразующих минералов имеют кристаллическую структуру и обладают анизотропией.

Изучением минералогического состава горных пород и определением вида исследуемых минералов занимается наука петрография. В петрографических лабораториях при помощи поляризационных микроскопов определяют отдельные характеристики минералов (оси симметрии, граничные углы и др.), после чего, сравнивая полученные данные с характеристиками минералов-эталонов, определяют вид исследуемого минерала. Однако такие испытания сложны, требуют специального оборудования, теоретической подготовки и практических навыков.

#### Задание на работу (рабочее задание)

В условиях учебной лаборатории, применяя молоток, стальную иглу, лупу, металлическую измерительную линейку, 10 % - ный раствор соляной кислоты, а также набор минералов-эталонов определить вид породообразующего минерала.

#### Ход работы (порядок выполнения работы)

При проведении лабораторных занятий по данной теме студентам выдают набор минералов-эталонов, свойства которых они изучают, пользуясь учебником, два-три образца для определения вида (названия) минерала. Прежде всего студенты сравнивают внешние признаки образца с эталоном (цвет, блеск, структуру) и ориентировочно дают название исследуемому минералу. Затем для проверки предварительных выводов определяют твердость минерала при помощи шкалы твердости Мооса (табл. 1.1).

Таблица 1.1

#### Шкала твердости минералов

Показатель твердости	Минерал	Характеристика твердости
1	Тальк	Легко чертится ногтем
2	Гипс	Ноготь оставляет черту
3	Кальцит	Легко чертится стальным ножом
4	Плавиновый шпат	Чертится стальным ножом под небольшим давлением
5	Апатит	Чертится стальным ножом при сильном нажиме, стекло не чертит
6	Ортоклаз (полевой шпат)	Слегка царапает стекло, стальной нож черты не оставляет
7	Кварц	Легко чертит стекло, стальной нож черты не оставляет
8	Топаз	То же
9	Корунд	То же
10	Алмаз	То же

В шкале твердости 10 специально подобранных минералов расположены в такой последовательности, когда следующий по порядку минерал оставляет черту (царапину) на предыдущем, а сам им не прочерчивается.

Твердость определяют следующим образом. На гладкой поверхности исследуемого образца минерала пробуют нанести черту каждым из минералов, указанных в шкале, начиная с самого мягкого. При этом устанавливают, какой минерал оставляет черту (царапает исследуемый образец). Например, если исследуемый минерал чертится апатитом, а сам оставляет черту (царапину) на плавиновом шпате, то его твердость соответствует 4,5. Чтобы иметь достоверные данные о твердости минерала, необходимо испытать не менее трех отдельных образцов, сделав для каждого образца по три определения, как указано выше.

Некоторые минералы могут иметь близкую по значению твердость и мало различаться по внешним признакам, например кальцит и гипс или ангидрит. В этом случае на образец из капельницы капают 10 %-ный раствор соляной кислоты. При этом карбонаты (например, кальцит) «вскипают», выделяя углекислый газ. Способ воздействия соляной кислотой является довольно эффективным для определения вида минерала. Значения прочности, плотности и другие сведения о минералах приведены в табл. 3.2.

#### Содержание отчета

Результаты работы по данной теме оформляются в виде таблиц (табл. 1.2).

Форма табл. 1.2

СН ОВ НЫ Е СВО ЙСТ ВА	№ п/п	Минерал		Внешний вид			Химический состав
		Наименование	Группа	Цвет	Блеск	Строение	
		1	2	3	4	5	

минералов.

Окончание табл. 1.2

Истинная плотность г/см <sup>3</sup>	Твердость	Предел прочности МПа	Устойчивость против выветривания	Характерные особенности	Виды горных пород, в которых встречаются
8	9	10	11	12	13

--	--	--	--	--	--

## ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Цель и задачи работы – определение минералогического состава горной породы, изучение её структуры и текстуры, установление вида горной породы и её свойств.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия:  
 молоток, стальная игла, лупа, шкала твердости Мооса, металлическая линейка, 10 %-ный раствор соляной кислоты, набор минералов-эталонов.

### Общие положения (теоретические сведения)

Горные породы образовались в результате разнообразных геологических, химических и других процессов, которые происходили на протяжении многих миллионов лет. От условий образования в значительной мере зависят группа и физико-механические свойства горных пород.

Большое значение имеет их петрографическая характеристика, которая дает возможность не только установить вид горной породы и составить предварительные суждения о ее качестве, но и дополняет результаты лабораторных испытаний сведениями о таких важных свойствах, как степень однородности и выветрелости, строение, сложение, рисунок, характер раскола и др.

Для макроскопического исследования горных пород необходимо иметь молоток, стальную иглу, лупу, шкалу твердости, металлическую линейку с миллиметровыми делениями и 10 %-ный раствор соляной кислоты. При проведении лабораторной работы по этой теме студенты получают два-три образца различных горных пород и выполняют макроскопические испытания их. Исследования горной породы начинают с осмотра и описания ее внешнего вида.

Цвет породы, его однородность и блеск дают возможность установить вид минералов, составляющих горную породу. Содержание в горной породе минералов карбонатной группы определяют действием 10 %-ного раствора соляной кислоты, которая вызывает «вскипание» на поверхности образца породы, содержащего углекислый кальций. Используя данные, приведенные в табл. 3.3, можно определить минералогический состав исследуемой горной породы.

Затем осмотром свежего излома определяют строение (структуру) и сложение (текстуру) породы.

По содержанию минералов, их цвету и структуре можно установить вид горной породы, а затем ориентировочно ее свойства (см. табл. 1.3). В том случае, когда студенты получают образцы известных горных пород, они заполняют в журнале для лабораторных и практических работ таблицу, занося в нее основные свойства горной породы. Для получения данных о свойствах горных пород рекомендуется использовать учебник и данное учебное пособие.

Таблица 1.3

Характеристики минералов горных пород

Минерал	Структура	Тверд дост	Цвет	Истинная плотность	Другие характерные признаки	Условия нахож- дения в

Каолин	Аморфная, зернистая	1	Белый, желтоватый	2,5	Излом землистый, материал легко	В чистом виде
Гипс	Кристаллическая, зернистая; бывает	1,5-2	Белый, желтоватый, розовый	2,2	Прозрачные кристаллы, материал иногда	То же
Мусковит	Кристаллическая, листовая	1,5-2,5	Серебристый, белый	2,8	Расщепляется на тончайшие прозрачные	В граните, сиените, гнейсе
Биотит	То же	2-3	Черный, бурый	2,8	Расщепляется на тонкие	То же
Кальцит	Кристаллическая и зернисто-кристаллическая	3	Белый, серый, желтый	2,6	Прозрачен, при ударе распадается на	В известняках, мраморе
Доломит	Кристаллическая	3,5	Белый, серый	2,8	В растворе соляной кислоты	То же
Авгит	То же	5-6	Черный и темно-	3,4	Просвечивает; блеск стекла	В магматиче-
Роговая обманка	То же	5-6	Черный и зелено-	3,1	Отчетливая спайность в	То же
Ортоклаз	То же	6	Белый, серый	2,5	На плоскостях спайности сте к-	В граните, сиените
Кварц	Кристаллическая	7	Бесцветный, белый, серый	2,6	Излом раковистый, острый	В граните, гнейсе, песчанике

Таблица 1.4

Основные свойства некоторых горных пород

Порода	Цвет	Минералы, входящие в состав породы	Структура породы	Средняя плотность,	Предел прочности при
Гранит	Серый, голубовато-серый	Кварц, полевой шпат, слюда	Кристаллическая	2500-2800	100 - 250
Диорит	Серо-зеленый до темно-зеленого	Полевой шпат, роговая	Кристаллическая	2700 - 2900	150 - 300
Габбро	Серый до черного	Полевой шпат, авгит, оливин	Тоже	2800-3100	200 - 350
Лабродорит	Темный	Полевой шпат, авгит, оливин	Тоже	2600 - 2900	150 - 250
Диабаз	Серый до темно-серого	Полевой шпат и авгит	Мелкозернистая, кристаллическая	2800 - 2900	200 - 300
Базальт	Темный, черный	Полевой шпат, авгит	Скрытокристаллическая	2900 - 3300	200 - 400
Известняк	Серый, желтый	Кальцит	Плотная аморфная	1800 - 2600	50 - 150
Песчаник	Белый до темного	Кварц	Зерна кварца соединены глиной, известью, каль-	2300 - 2600	80 - 300
Мрамор	Белый, розовый до черного	Кальцит и доломит	Зернисто-кристаллическая	2600 - 2800	100 - 300

Кварцит	Белый до темно-вишневого	Кварц	Зерна кварца соединены	2500 - 2700	300 - 400
---------	--------------------------	-------	------------------------	-------------	-----------

### Задание на работу (рабочее задание)

Ознакомиться с горными породами по имеющимся в коллекции образцам и установить их признаки

### Ход работы (порядок выполнения работы)

1. Изучить состав и структуру горных пород.
2. Определить основные физические и механические свойства.
3. Определить группу породы по условиям образования с помощью структурно-текстурных признаков.
4. Для определения карбонатных пород необходимо использовать способность их реагировать с соляной кислотой.
5. Обосновать области применения горных пород в строительстве.

### Содержание отчета

Результаты работы по данной теме оформляются в виде таблиц (табл. 1.5).

Форма табл. 1.5

#### Основные свойства горных пород.

№ п/п	Горные породы		Внешний вид		Минеральный состав
	Наименование	Подгруппа	Цвет	Строение	
1	2	3	4	5	6

Окончание табл. 1.5

Средняя плотность	Предел прочности МПа	Стойкость против выветривания	Область применения
7	8	9	10

#### **4. Исследование основных свойств строительного гипса (нормальной густоты гипсового теста, сроков схватывания гипсового теста, прочности гипсового камня).**

Строительным гипсом называют воздушное вяжущее вещество, получаемое путем термической обработки природного двуводного гипса ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) при 150–180 °С до превращения его в полуводный гипс ( $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ ) с измельчением в тонкий порошок до или после обработки. Строительный гипс применяют для изготовления строительных деталей и изделий, а также для штукатурных работ.

Для оценки качества гипса от каждой партии вяжущего, подлежащего испытанию, отбирают пробу массой от 10 до 15 кг. При поставке гипса без упаковки пробу отбирают непосредственно с транспортных средств равными частями из

четырёх мест. При поступлении гипса в мешках пробу отбирают из 10 мешков примерно по 1 – 1,5 кг из середины каждого мешка. Отобранные пробы тщательно смешивают и квартованием делят на две равные части по 5–7 кг каждая, одну из которых передают в лабораторию на испытание. При испытании гипса в условиях учебной лаборатории определяют тонкость помола, нормальную густоту и сроки схватывания гипсового теста, предел прочности при изгибе и сжатии образцов из затвердевшего гипсового теста.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ГИПСОВОГО ТЕСТА

Цель и задачи работы – освоение методики определения нормальной густоты гипсового теста.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия:

весы по ГОСТ 24104-88, вискозиметр Суттарда, чашка для затворения гипсового и цементного теста, ручная мешалка для перемешивания гипсового теста, секундомер, линейка металлическая.

Общие положения (теоретические сведения)

Нормальную густоту гипсового теста определяют при помощи вискозиметра Суттарда (рис. 6.3), представляющего собой медный или латунный цилиндр, имеющий высоту 100 мм и внутренний диаметр 50 мм. Цилиндр должен иметь хорошо отполированную внутреннюю поверхность и место соприкосновения со стеклом, на которое его устанавливают при проведении опыта. На стекле диаметром более 240 мм или на бумаге под стеклом наносят ряд концентрических окружностей диаметром 150 – 220 мм, причем окружности диаметром от 170 до 190 мм наносят через 5 мм, а остальные – через 10 мм. Перед испытанием цилиндр и стекло протирают влажной тканью. Стекланную пластинку кладут строго горизонтально, а цилиндр устанавливают в центре концентрических окружностей.

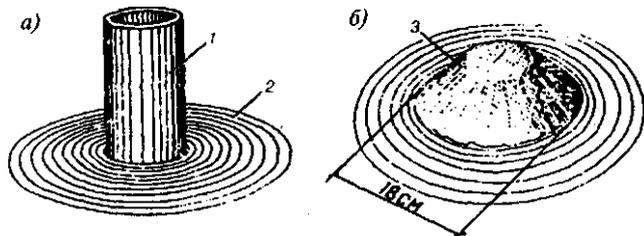


Рис. 6.3. Вискозиметр Суттарда

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

1 – латунный цилиндр; 2 – стеклянная пластинка с концентрическими окружностями;

3 – лепешка из гипсового теста нормальной густоты

Ход работы (порядок выполнения работы)

Для определения нормальной густоты теста отвешивают 300 г гипса, всыпают его в сферическую чашку (рис. 6.4) с заранее отмеренным количеством воды (150 – 220 мл) и ручной мешалкой (рис. 6.5), перемешивают в течение 30 с, начиная отсчет времени от начала всыпания гипса в воду. После окончания перемешивания цилиндр, установленный в центре стекла, заполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают линейкой. Через 45 с, считая от начала всыпания гипса в воду, или через 15 с после окончания перемешивания, цилиндр быстро поднимают вертикально и отводят в сторону. При этом гипсовое тесто расплывается на стекле в лепешку (см. рис. 6.3, б). Диаметр расплыва определяют по концентрическим окружностям или измеряют линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение.

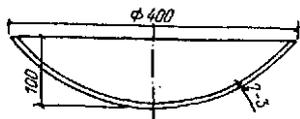
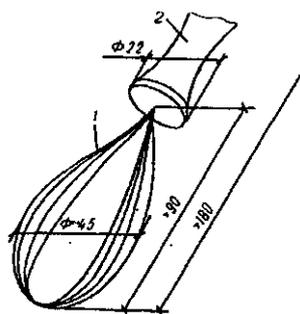


Рис. 6.4.  
Чашка для затворения гипсового и цементного



теста

Рис. 6.5. Ручная мешалка для перемешивания гипсового теста

Средний диаметр расплыва характеризует консистенцию гипсового теста. Стандартная консистенция (нормальная густота) характеризуется диаметром расплыва гипсового теста, равным  $180 \pm 5$  мм. Если диаметр расплыва теста не соответствует  $180 \pm 5$  мм, испытания повторяют с измененной массой воды (на 1 – 2 %). Нормальную густоту гипсового теста выражают числом миллилитров воды, приходящихся на 100 г гипса.

При проведении лабораторной работы по данной теме под- группу студентов делят на бригады по три–четыре человека. Каж- дая бригада prepares один замес гипсового теста с количест- вом воды, заданным преподавателем. При этом одна бригада готовит тесто с заведомо недостаточным, другая с равным, а тре- тья с большим количеством воды, чем требуется для получения

нормальной густоты.

#### Содержание отчета:

Результаты испытаний, полученные каждой бригадой, заносят в таблицу 6.5 и по ним устанавливают нормальную густоту гипсового теста.

Таблица 6.5

Результаты определения нормальной густоты гипсового теста

№ опытов	Навеска гипса, г	Количество воды, мл	Средний диаметр расплыва, мм	Нормальная густота гипсового теста, мл

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ГИПСОВОГО ТЕСТА

Цель и задачи работы – освоение методики определения сроков схватывания гипсового теста.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: весы по ГОСТ 24104-88, прибор Вика, кольцо к прибору Вика, чашка для затворения гипсового и цементного теста, ручная мешалка для перемешивания гипсового теста, секундомер, линейка металлическая.

Общие положения (теоретические сведения)

Для определения сроков схватывания гипсового теста используют стандартный прибор Вика (рис. 6.6), который состоит из станины 1, подвижного металлического стержня 2 с площадкой 3 для добавочного груза, латунного кольца в виде усеченного конуса 8, стеклянной пластинки 9. Для закрепления стержня на требуемой высоте служит зажимной винт 6. Стержень снабжен указательной стрелкой 4 для отсчета перемещения его относительно прикрепленной к станине шкалы 5 с делениями от 0 до 40 мм. В нижней части подвижного стержня закрепляют стальную иглу 7 диаметром 1 мм и длиной 50 мм. Перед началом испытания проверяют свободное падение металлического стержня, чистоту иглы, положение стрелки, которая должна быть на нуле, если игла упирается в пластинку. Масса стержня с иглой составляет 120 г. Кольцо 8 и пластинку вперед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

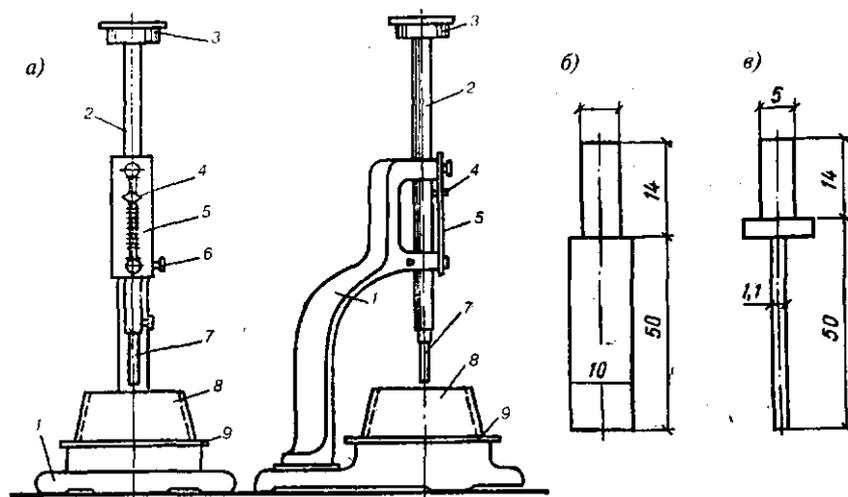


Рис. 6.6. Прибор Вика для определения сроков схватывания  
а – вид спереди и сбоку; б – пестик; в – стальная игла

Ход работы (порядок выполнения работы)

Для определения сроков схватывания отвешивают 200 г гипса, равномерно всыпают его в воду, количество которой соответствует нормальной густоте теста, и перемешивают массу ручной мешалкой (см. рис. 6.5) в течение 30 с. Приготовленное тесто быстро вливают в кольцо прибора, установленное на стекле. Для удаления попавшего в гипсовое тесто воздуха кольцо с пластинкой 4–5 раз встряхивают путем поднятия и опускания одной из сторон пластинки примерно на 10 мм. Избыток теста срезают и поверхность заглаживают ножом. Затем кольцо помещают под иглу прибора, приводят ее в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень зажимным винтом; затем иглу через каждые 30 с опускают в гипсовое тесто так, чтобы каждый раз она погружалась в новое место. После извлечения из теста иглу тщательно вытирают. Глубину погружения иглы в гипсовое тесто фиксируют по показанию стрелки, расположенной на

подвижном стержне, и ее значение заносят в журнал для лабораторных и практических работ.

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

#### Содержание отчета:

Сроки схватывания испытуемого гипсового теста заносят в таблицу 6.6 и сравнивают с требованиями стандарта.

Таблица 6.6

#### Результаты определения сроков схватывания гипсового теста

№ опытов	Навеска гипса, г	Количество воды, мл	Время от начала затворения водой, мин	Отсчет по шкале прибора, мм	Начало схватывания цемента, мин	Конец схватывания цемента, мин

В зависимости от сроков схватывания, строительный гипс относят к одной из трех групп: А – быстротвердеющий (начало схватывания не ранее 2 мин, конец – не позднее 15 мин); Б – нормальнотвердеющий (начало схватывания не ранее 6 мин, конец – не позднее 30 мин); В – медленно твердеющий (начало схватывания не ранее 20 мин, конец схватывания не нормируется).

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ГИПСОВОГО КАМНЯ

Цель и задачи работы – освоение методики определения прочности гипсового камня.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: весы по ГОСТ 24104-88, чашка для затворения гипсового и цементного теста, ручная мешалка для перемешивания гипсового теста, формы для изготовления образцов-балочек, рычажный прибор Михаэлиса, пресс гидравлический с максимальным усилием до 100 кН, секундомер, линейка металлическая.

#### Общие положения (теоретические сведения)

Для оценки качества и сорта гипса его пробу подвергают испытанию в лаборатории, где определяют предел прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек, изготовленных из гипсового теста. Для изготовления трех образцов-балочек отвешивают от 1 до 1,6 кг гипса и доливают в чашку воду в количестве, которое соответствует нормальной густоте теста. Гипс в течение 5–20 с засыпают в чашку с водой и перемешивают ручной мешалкой в течение 60 с до получения однородной массы, которую заливают в металлическую форму (рис. 6.7). Предварительно внутреннюю поверхность формы слегка смазывают минеральным маслом. Продольные и поперечные стенки формы должны плотно прилегать к

отшлифованной поверхности поддона. Поперечные стенки формы вместе с продольными стенками следует закреплять зажимным винтом таким образом, чтобы форма была плотно прижата к поддону, а угол между стенками и дном формы составлял  $90^\circ$ .

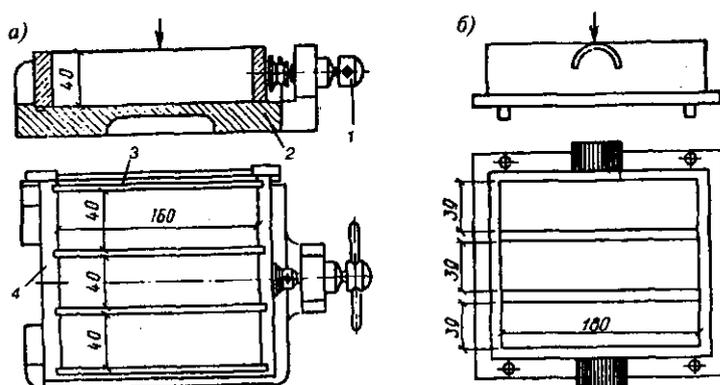


Рис. 6.7. Металлическая разъемная форма для изготовления образцов-балочек (а) и насадка к ней (б)

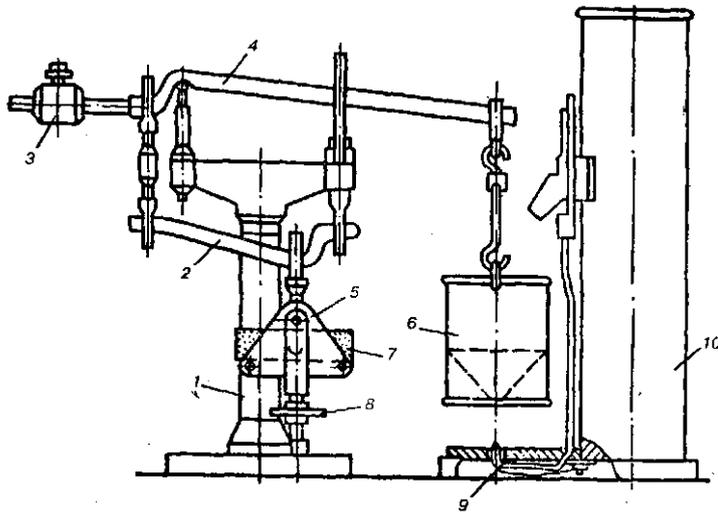
1 – зажимной винт; 2 – поддон; 3 – поперечные стенки; 4 – продольные стенки  
Ход работы (порядок выполнения работы)

В каждой форме одновременно изготавливают три образца размером 40x40x160 мм. При изготовлении образцов отсеки формы наполняют одновременно, для чего чашку с гипсовым тестом равномерно продвигают над формой. Для удаления вовлеченного воздуха после заливки форму встряхивают 5 раз, для чего ее поднимают за торцевую сторону на высоту около 10 мм и опускают. После наступления начала схватывания излишки гипсового теста снимают линейкой, передвигая ее по верхним граням формы перпендикулярно поверхности образцов. Через 15+5 мин после конца схватывания образцы извлекают из формы и осматривают.

Грани образцов-балочек, прилегающие к плитам прессы, должны быть параллельны и не иметь отклонения от плоскости более чем на 0,5 мм. Если на гранях образцов будут обнаружены дефекты, то испытывать их нельзя.

Через 2 ч после затворения теста три образца-балочки испытывают на изгиб на машине МИИ-100 или рычажном приборе Михаэлиса (рис. 6.8). Он состоит из станины 1, нижнего рычага 2 с соотношением плеч 1:5, верхнего рычага 4 с соотношением плеч 1 : 10, приспособления 5 для испытания на изгиб, ведерка для дробы 6, натяжного маховика 8, бункера с дробью 10. Система рычагов прибора увеличивает возникающее от массы дробы усилие на образце в 50 раз.

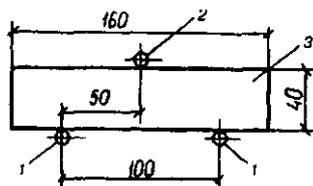
Перед началом испытания необходимо проверить равновесие прибора. Прибор Михаэлиса уравнивают при снятом ведерке, перемещая груз 3 так, чтобы верхняя поверхность главного рычага 4 находилась на одном уровне с рискуй, сделанной на внутренней поверхности скобы. Непосредственно перед испытанием образцы внимательно осматривают и удаляют с ребер заусенцы, чтобы при установке образца в захваты прибора он опирался на валики чистыми поверхностями. Образец-балочку 7 устанавливают на опорные валики изгибающего устройства, чтобы те грани образца, которые при изготовлении его были горизонтальными, находились в вертикальном положении.



**Рис. 6.8.** Рычажный прибор с приспособлением для испытания балочек на изгиб

Расстояние между центрами опорных роликов 100 мм, а передающий нагрузку ролик расположен посередине между опорами (рис. 6.9). Затем нагружают ведро дробью из бункера прибора, при этом скорость нагружения должна быть равномерной. Когда вес дробы вместе с ведром достигнет величины, соответствующей разрушающей нагрузке, образец сломается, а ведро, упав на педаль 9 бункера, прекратит поступление дробы. Ведро с дробью взвешивают с точностью до 10 г.

Предел прочности при изгибе образца-балочки размером 40x40x160 мм при расстоянии между опорами 100 мм и соотношении плеч рычага 1 : 50, МПа:



$$R_{изг} = 11,7 p,$$

Рис. 6.9. Схема испытания балочки на изгиб  
1— опоры;  
2— нагружающий ролик; 3 — балочка

где  $p$  — вес ведерка с дробью, Н.

теста, вычисляют наибольших При испытании на 100.

Предел прочности при изгибе образцов, изготовленных из гипсового как среднее арифметическое двух результатов испытаний трех образцов. изгиб образцов-балочек на машине МИИ-

Содержание отчета:

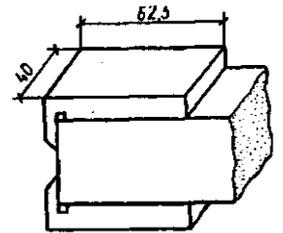
Результаты опытов заносят в таблицу 6.7.

Таблица 6.7

Результаты определения предела прочности при изгибе образцов, изготовленных из гипсового теста

№ опыта	Схема приложения нагрузки	Размеры образца, см			Разрушающая нагрузка (вес ведерка с дробью) $p$ , Н	Предел прочности и при изгибе образца-балочки $R_{изг}$ , МПа	Предел прочности и при изгибе образцов, МПа
		$l$	$b$	$h$			


**Предел прочности при сжатии** определяют путем испытания шести половинок балочек, полученных при испытании образцов на изгиб, на 1-тонном гидравлическом прессе. Для передачи нагрузки на половинки балочек используют плоские стальные шлифованные пластинки размером 40x62,5 мм (площадь 25 см<sup>2</sup>). Каждую половинку балочки помещают между двумя пластинками таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам формы, совпали с рабочими поверхностями (рис. 6.10), а упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой стенке образца. Нагрузка при испытании должна возрастать непрерывно до разрушения образца. Время от начала равномерного нагружения образца до его разрушения должно быть в пределах 5–30 с, средняя скорость нарастания нагрузки при испытании должна быть 1±0,1 Н/с.



Предел прочности при сжатии каждого образца равен частному от деления значения разрушающей нагрузки на рабочую площадь пластинки, равную 25 см<sup>2</sup>. За окончательный результат принимают среднее арифметическое из четырех значений испытания шести образцов-половинок (без наибольшего и наименьшего результатов).

Рис.6.10.  
Расположение металлических пластинок при испытании половинок балочек на сжатие

Содержание отчета:

Полученные результаты испытания гипсовых образцов записывают в таблицы 6.7 и 6.8 и сравнивают их с техническими требованиями стандарта, приведенными в табл. 6.9.

Таблица 6.8

Результаты определения предела прочности на сжатие образцов, изготовленных из гипсового теста

№ опыта	Размеры образца, см	Площадь поперечного сечения образца F, см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка $P_{разр}$ , кН	Предел прочности на сжатие $R_{сж}$ , МПа	Предел прочности на сжатие образцов, МПа

Таблица 6.9

Технические требования, предъявляемые к строительному гипсу

Марка вяжущег	Предел прочности	Марка вяжущег	Предел прочности
---------------	------------------	---------------	------------------

о	образцов-балочек размером 40x40x160 мм в возрасте 2 ч, МПа, не менее		о	образцов-балочек размером 40x40x160 мм в возрасте 2 ч, МПа, не менее	
	при сжати и	при изгибе		при сжати и	при изгибе
Г-2	2	1.2	Г-10	10	4,5
Г-3	3	1,8	Г-13	13	5,5
Г-4	4	2	Г-16	16	6
Г-5	5	2,5	Г-19	19	6,5
Г-6	6	3	Г-22	22	7
Г-7	7	3,5	Г-25	25	8

## 5. Исследование основных свойств портландцемента (нормальной густоты, сроков схватывания, равномерности изменения объема цементного теста, определение марки).

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Цель работы – освоение методики определения нормальной густоты цементного теста.

Оборудование: весы по ГОСТ 24104-88, прибор Вика, чаша и лопатка, секундомер.

#### Теоретические сведения

Нормальную густоту определяют согласно ГОСТ 310.3-76 на приборе Вика (см. рис. 6.6). В этом случае иглу прибора заменяют металлическим пестиком диаметром 10 мм и длиной 50 мм. Масса подвижного стержня прибора вместе с пестиком должна быть  $300 \pm 2$  г. Перед началом испытания проверяют свободное падение подвижного стержня прибора, чистоту пестика, положение стрелки, которая должна стоять на 0 при соприкосновении пестика со стеклянной пластинкой, смазывают кольцо и пластинку тонким слоем машинного масла.

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г испытываемого цемента, высыпают его в сферическую металлическую чашку, предварительно протертую влажной тканью. Затем в цементе делают углубление, куда в один прием вливают предварительно отмеренную воду в количестве, необходимом для получения цементного теста нормальной густоты. Количество воды для первого пробного затворения цемента может быть ориентировочно принято  $110 - 112 \text{ см}^3$ , т. е. 25 - 28 % по массе цемента. Углубление, в которое была налита вода, с помощью стальной лопатки (рис. 6.13) заполняют цементом и через 30 с после этого осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой во взаимно перпендикулярных направлениях, периодически

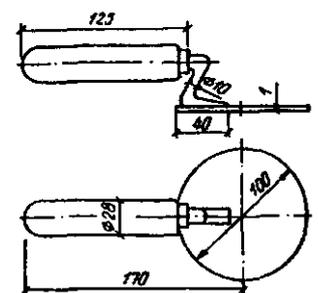


Рис. 6.13. Лопатка для перемешивания

поворачивая чашку на 90°. Продолжительность перемешивания и непрерывного растирания с момента затворения цемента водой – 5 мин.

После окончания перемешивания цементное тесто укладывают в один прием в кольцо, которое пять-шесть раз встряхивают, постукивают пластинкой с прижатым к ней кольцом о поверхность стола. Избыток цементного теста срезают ножом, предварительно протертым влажной тканью. Кольцо на стеклянной пластинке ставят под стержень прибора Вика, пестик приводят в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют его в таком положении зажимным винтом. Затем быстро отвинчивают зажимной винт, и стержень вместе с пестиком свободно погружается в тесто. Через 30 с с момента освобождения стержня по шкале прибора фиксируют глубину погружения пестика.

Густота цементного теста считается нормальной, если пестик не доходит до стеклянной пластинки на 5–7 мм. Если он, погружаясь в цементное тесто, остановится выше, то опыт повторяют с большим количеством воды, а если ниже - с меньшим, добиваясь погружения пестика на глубину, соответствующую нормальной густоте теста. Количество добавляемой воды для получения теста нормальной густоты, % по массе цемента, определяют с точностью до 0,25 %.

Для выполнения данной лабораторной работы подгруппу студентов разбивают на бригады по три-четыре человека, и каждая бригада проводит один опыт по определению нормальной густоты цементного теста с заданным преподавателем количеством воды (для портландцемента 22-28 %). Затем данные, полученные каждой бригадой, заносят в сводную таблицу журнала для лабораторных и практических работ, на основании которой студенты делают выводы о нормальной густоте теста испытываемого цемента.

#### Обработка результатов

Результаты опытов заносят в таблицу 6.13.

Таблица 6.13

Результаты определения нормальной густоты гипсового теста

№ опытов	Навеска цемента, г	Количество воды, мл	Отсчёт по шкале прибора, мм	Вдопотребность цемента, %

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Цель работы – освоение методики определения сроков схватывания цементного теста.

Оборудование: весы по ГОСТ 24104-88, прибор Вика, кольцо к прибору Вика, чаша и лопатка, секундомер, линейка металлическая.

## Теоретические сведения

Сроки схватывания по ГОСТ 310.3-76 определяют с помощью прибора Вика (см. рис. 6.6), но вместо пестика на нижней подвижной части стержня закрепляют стальную иглу диаметром 1 мм и длиной 50 мм. Так как общая масса стержня (т.е. общая масса подвижной части прибора, воздействующей при испытании на цементное тесто) при замене пестика уменьшается, то на плоскую головку стержня накладывают дополнительный груз, чтобы масса стержня с иглой составляла 300 г.

Перед началом испытания проверяют свободное перемещение металлического стержня прибора Вика, положение стрелки, которая должна быть на нуле при опирании иглы на стеклянную пластинку, чистоту и прямизну иглы. После этого смазывают кольцо и пластинку тонким слоем машинного масла.

Цементное тесто нормальной густоты готовят по методике, изложенной ранее; сразу после приготовления помещают в кольцо прибора Вика, установленное на стеклянной пластинке, и слегка встряхивают пять-шесть раз для удаления воздуха. Избыток теста снимают ножом и поверхность выравнивают. Кольцо с цементным тестом устанавливают на столик прибора, опускают стержень до соприкосновения иглы с поверхностью теста и закрепляют стержень винтом. Затем быстро отвинчивают зажимной винт, чтобы игла могла свободно погрузиться в тесто. Иглу погружают в тесто через каждые 5 мин до начала схватывания и через каждые 15 мин в последующее время до конца схватывания. Место погружения иглы в тесто меняют, передвигая кольцо, иглу вытирают мягкой тканью или фильтровальной бумагой.

За начало схватывания принимают время с момента затворения цемента водой до момента, когда игла не дойдет до стеклянной пластинки на 1-2 мм. За конец схватывания принимают время от начала затворения цементного теста до момента, когда игла будет опускаться в тесто не более чем на 1-2 мм. Начало схватывания портландцемента, портландцемента с минеральными добавками, шлакопортландцемента и пуццоланового портландцемента должно наступать не ранее чем через 45 мин, а конец схватывания - не позднее 10 ч с момента затворения цементного теста.

Выполнение данной лабораторной работы требует много времени и, как правило, за одно учебное занятие не удастся установить конец схватывания цемента. Приняв во внимание то, что студенты ранее познакомились с методикой определения сроков схватывания гипса, преподаватель должен продемонстрировать всей подгруппе студентов методику приготовления теста нормальной густоты и заполнения им кольца, а также показать, как погружают иглу прибора Вика в цементное тесто.

## Обработка результатов

Преподаватель сообщает студентам сроки схватывания испытываемого цемента. Эти данные они заносят в таблицу 6.14.

Таблица 6.14

Результаты определения сроков схватывания цементного теста

№ опытов	Навеска цемента, г	Количество воды, мл	Время от начала затворения водой, мин	Отсчет по шкале прибора, мм	Начало схватывания цемента, мин	Конец схватывания цемента, мин
----------	--------------------	---------------------	---------------------------------------	-----------------------------	---------------------------------	--------------------------------


## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА ЦЕМЕНТА

Цель работы – освоение методики определения равномерности изменения объема цемента.

Оборудование: весы по ГОСТ 24104-88, чаша и лопатка, ванна с гидравлическим затвором, бачок для испытания лепешек кипячением, лупа, линейка металлическая.

### Теоретические сведения

Процесс твердения цемента сопровождается изменением объема образовавшегося цементного камня. Однако наличие в цементе свободных СаО и MgO, которые гасятся с увеличением объема в уже затвердевшем цементном камне, может привести к неравномерным деформациям и образованию трещин в твердеющих бетонах и растворах.

Равномерность изменения объема цемента устанавливают кипячением в воде образцов-лепешек. Для изготовления лепешек берут 400 г цемента и из него готовят тесто нормальной густоты. Затем отвешивают четыре навески цементного теста по 75 г каждая и помещают каждую в виде шарика на отдельную стеклянную пластинку, предварительно протертую машинным маслом. Осторожно постукивая пластинкой о край стола, получают из шарика лепешку диаметром 7-8 см и толщиной в средней ее части около 1 см. Поверхность полученных лепешек заглаживают от наружных краев к центру смоченным в воде ножом. Приготовленные таким образом лепешки выдерживают на стеклянных пластинках 24 ч в ванне с гидравлическим затвором (рис. 6.14) при температуре  $20 \pm 5$  °С.

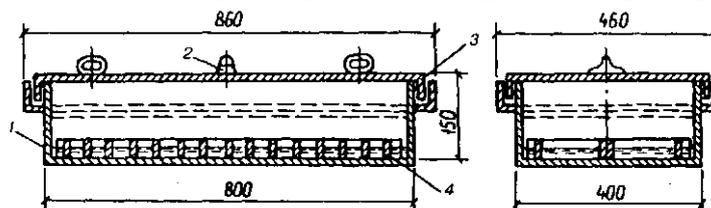


Рис. 6.14. Ванна с гидравлическим затвором

/ – наина; 2 – пробка; 3 – гидравлический затвор; 4 – решетка для образцов

Затем лепешки снимают со стеклянных пластинок и кладут на решетчатую полку 5 бачка 4 (рис. 6.15). Для поддержания постоянного уровня воды бачок резиновым шлангом 7 соединен с регулятором уровня воды 1. При помощи подвижной трубки 2 уровень воды в бачке устанавливают на 4–6 см выше поверхности лепешек. Бачок закрывают крышкой 3 и ставят на нагревательный прибор. Воду в бачке за 30–45 мин доводят до кипения, которое поддерживают 4 ч. После кипячения лепешки охлаждают в бачке до температуры  $20 \pm 5$  °С, вынимают из бачка и тщательно осматривают. Цемент признают доброкачественным (рис. 6.16), если на лицевой стороне лепешек, подвергнутых испытанию кипячением, нет до-

ходящих, до краев радиальных трещин или сетки мелких трещин, видимых в лупу или невооруженным глазом, а также каких-либо искривлений (рис. 6.17).

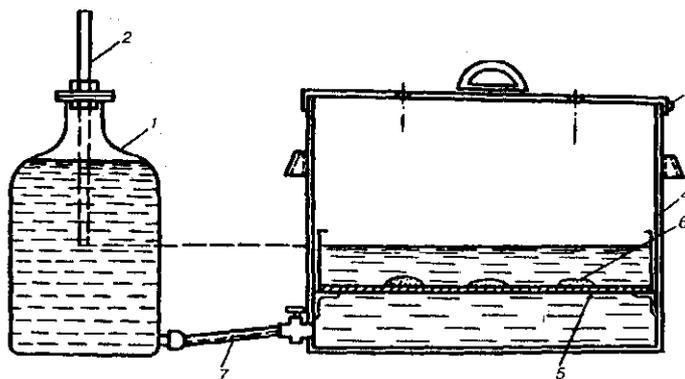


Рис. 6.15. Бачок для испытания лепешек кипячением и регулятор уровня воды

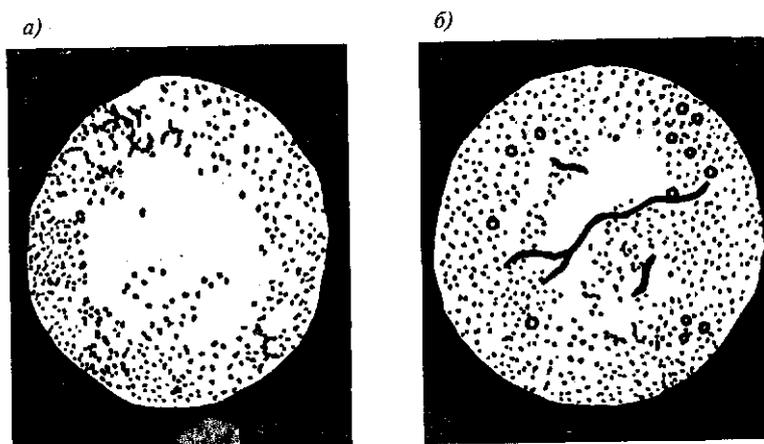


Рис. 6.16. Лепешки, выдержавшие испытание на равномерность изменения объема

а - нормальное изменение объема; б- трещины усыхания

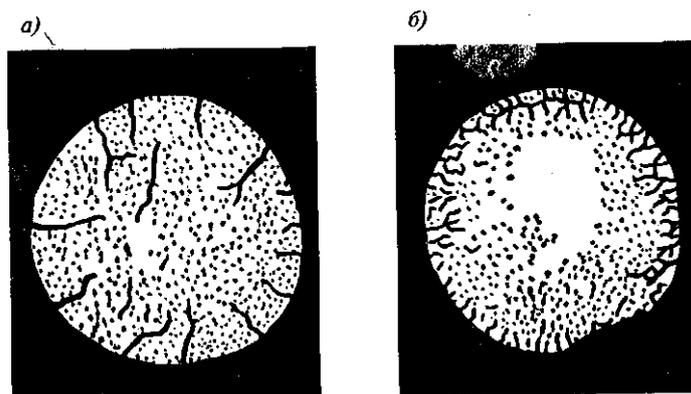


Рис. 6.17.



номерность изменения  
искривление

При выполнении данной лабораторной работы студенты каждой бригады изготавливают из цементного теста нормальной густоты по одной лепешке и маркируют ее, при этом общее число лепешек должно быть четыре. Затем

преподаватель объясняет методику проведения испытания, устройство аппаратуры и показывает студентам эталоны лепешек, а также лепешки, выдержавшие и не выдержавшие испытание на равномерность изменения объема цемента при твердении.

На следующем занятии после испытания лепешек лаборантами каждый студент получает образец и устанавливает качество цемента по этому показателю.

В таблице 6.15 зарисовывают вид лепешек, выдержавших и не выдержавших испытания на равномерность изменения объема.

#### Обработка результатов

Таблица 6.15

Результаты определения равномерности изменения объема цемента при  
твердении

Результаты визуального осмотра лепешек после кипячения	Вывод о соответствии цемента требованиям равномерности изменения объема цемента при твердении

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ ЦЕМЕНТА

Цель работы – освоение методики определения марки цемента по величине предела прочности при изгибе и сжатии образцов.

Оборудование: весы по ГОСТ 24104-88, чаша и лопатка, встряхивающий столик и форма-конус, штыковка, вибрационная площадка, ванна с гидравлическим затвором, формы для изготовления образцов-балочек, машина МИИ-100, линейка металлическая.

#### Теоретические сведения

Марку цемента устанавливают по величине предела прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек размером 40x40x160 мм, изготовленных из пластичного цементного раствора состава 1:3 по массе (1 ч. цемента и 3 ч. нормального вольского песка).

Методика определения марки цемента (ГОСТ 310.4–81) состоит в следующем. Сначала определяют консистенцию цементного раствора, которая требуется для изготовления образцов-балочек. Для этого отвешивают 1500 г песка и 500 г цемента, высыпают их в сферическую чашку (см. рис. 6.4) и перемешивают цемент с песком лопаткой в течение 1 мин. Затем в центре сухой смеси делают лунку и вливают в нее 200 г воды ( $V/D = 0,4$ ). После того как вода впитается, еще раз перемешивают смесь в течение 1 мин. Раствор переносят в механический смеситель (рис. 6.18), где его перемешивают в течение 2,5 мин (20 оборотов чаши мешалки).

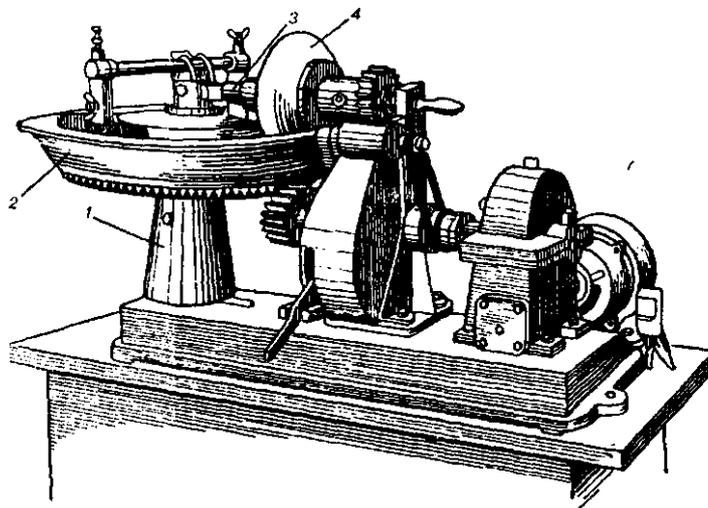


Рис. 6.18. Смеситель для перемешивания цементного раствора  
1 - станина; 2 – смесительная чаша; 3 – откидная траверса; 4 – валик для перемешивания раствора

По окончании перемешивания определяют консистенцию цементного раствора. Для этого используют встряхивающий столик и металлическую форму-конус (рис. 6.19). Встряхивающий столик состоит из чугунной станины 1; на валу 2 находится кулачок 3, который поднимает ось 4 с горизонтальным диском 5 и закрепленным на нем листом зеркального стекла 6 диаметром 300 мм. При вращении маховика 8 ось с укрепленным диском при помощи кулачка совершает возвратно-поступательное вертикальное движение. При этом столик поднимается на 10 мм, встряхивая форму 7.

Перед укладкой смеси в конус внутреннюю поверхность его и стеклянный диск слегка увлажняют. Растворную смесь укладывают в форму-конус двумя слоями равной толщины. Каждый слой уплотняют металлической штыковкой (рис. 6.20). Нижний слой штыкуют 15 раз, верхний – 10. Во время укладки и уплотнения раствора конус прижимают рукой к стеклянному диску. Излишек раствора срезают ножом и форму-конус медленно поднимают. Затем, вращая рукоятку маховика, встряхивают столик 30 раз в течение 30 с, при этом конус цементного раствора расплывается. При помощи штангенциркуля или стальной линейки измеряют расплыв конуса по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Консистенцию раствора считают нормальной, если расплыв конуса оказался равным 106 – 115 мм. При меньшем расплыве конуса раствор готовят заново, несколько увеличивая количество воды затворения. Водопотребность раствора выражают в виде водоцементного отношения; его значение записывают в журнал и в дальнейшем пользуются при приготовлении раствора для изготовления образцов-балочек.

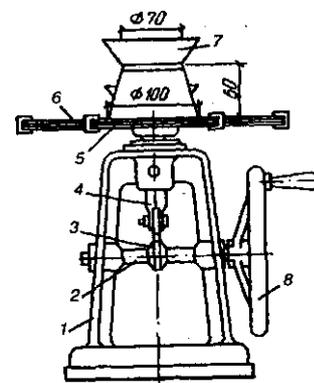


Рис. 6.19.  
Встряхивающий столик и форма-конус

Образцы-балочки формуют в трехгнездовых металлических формах (см. рис. 6.7). Внутреннюю поверхность стенок и поддона слегка смазывают машинным

маслом. На собранную форму надевают металлическую насадку (см. рис. 6.7) и густой смазкой промазывают снаружи стык между формой и насадкой.

Цементный раствор нормальной консистенции для изготовления трех образцов-балочек готовят так же, как и для определения нормальной густоты раствора, т. е. из 500 г цемента и 1500 г песка. На каждый намеченный срок испытания изготавливают три образца.

Для уплотнения раствора подготовленную форму с насадкой прочно закрепляют на стандартной виброплощадке, создающей вертикальные колебания с амплитудой 0,35 мм и частотой 2800 – 3000 колебаний в 1 мин.

Готовый раствор укладывают в гнезда формы слоем приблизительно 1 см и включают виброплощадку. Затем в течение 2 мин вибрации все три гнезда формы равномерно небольшими порциями заполняют раствором. По истечении 3 мин (от начала вибрации) виброплощадку выключают и снимают форму. Затем смоченным ножом срезают излишек раствора, зачищают поверхность образцов вровень с краями формы и маркируют образцы.

Готовые образцы в формах хранят в ванне с гидравлическим затвором (см. рис. 6.14) в течение  $24 \pm 2$  ч. Затем образцы осторожно расформовывают и укладывают в горизонтальное положение в ванну с водой, где хранят до момента испытания. Образцы в воде не должны соприкасаться

один с другим. Необходимо, чтобы объем воды в сосуде для хранения образцов был в 4 раза больше объема образцов. Температуру воды в ванне поддерживают  $20 \pm 2$  °С, ее значение ежедневно контролируют и заносят в журнал. Воду, в которой хранят образцы, рекомендуется менять через каждые 14 дней. Вынутые образцы испытывают не позднее чем через 10 мин.

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

Образцы-балочки испытывают на изгиб с помощью машины МИИ-100 (рис. 6.21) или рычажного прибора Михаэлиса (см. рис. 6.8). Испытание на изгиб на машине МИИ-100 производят следующим образом. Стрелку 2 устанавливают на 0 шкалы 1, перемещая винт с грузом 6 вдоль прорези 5. Образец-балочку устанавливают на опоры 13 изгибающего устройства (расстояние между центрами опор 100 мм) и маховичком 12 создают первичное натяжение валика 10. При отклонении стрелки 2 до деления 4,5 шкалы натяжение прекращают. После этого, поднимая рукоятку управления 7, включают электродвигатель машины, который перемещает с постоянной скоростью по одному коромыслу рычага груз постоянной массы. Коромысло 9 этого рычага связано с серьгой изгибающего устройства. При перемещении груза плавно увеличивается усилие на испытываемую балочку.

Машина снабжена счетчиком 8, который автоматически, в зависимости от положения груза, показывает напряжение в балочке в данный момент испытания. В момент разрушения образца коромысло, падая, ударяется о шайбу 4 амортизатора 3 и выключает машину. На счетчике остается показание предела прочности при изгибе. Сняв половинки балочек, рукоятку управления опускают в крайнее нижнее

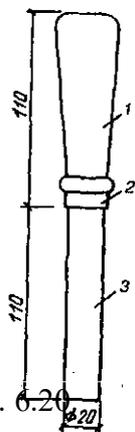


Рис. 6.20  
Штыковка для  
укладки раствора  
в форму-конус  
1 – ручка;  
2 – кольцо;  
3 – стержень

положение. При этом машина возвращает груз в начальное положение, а счетчик сбрасывает показания до нуля.

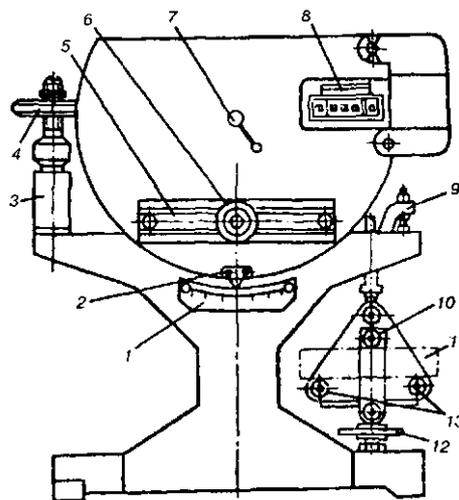


Рис. 6.21. Испытательная машина МИИ-100

При испытании на изгиб образцов-балочек на рычажном приборе Михаэлиса следует руководствоваться методикой, изложенной выше.

Предел прочности при изгибе образцов цементного раствора вычисляют как среднее арифметическое из двух наибольших результатов испытания трех образцов-балочек. Половинки балочек испытывают на сжатие на гидравлическом прессе. Для передачи нагрузки на половинки балочек применяют плоские стальные шлифованные пластинки размером 40x62,5 мм (площадь 25 см<sup>2</sup>). Каждую половинку балочки помещают между двумя пластинками таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам формы, совпадали с рабочими поверхностями пластинок (см. рис. 6.10), а упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой стенке образца. При испытании образца на сжатие скорость увеличения нагрузки должна быть около 5 кН/с.

Предел прочности при сжатии  $R_{сж}$ , МПа:

$$R_{сж} = p / S,$$

где  $p$  – разрушающая нагрузка, Н;

$S$  – рабочая площадь пластинки, мм<sup>2</sup>.

Предел прочности при сжатии образцов, изготовленных из испытываемого цементного раствора, вычисляют как среднее арифметическое четырех наибольших результатов шести испытанных образцов.

Испытание образцов-балочек на изгиб и их половинок на сжатие может быть выполнено студентами на следующем занятии через 7 или 14 сут, а если позволяет время, то и через 28 сут. Для перевода 7- или 14-суточной прочности образцов в 28-суточную прочность могут быть приняты ориентировочно коэффициенты: 1,5 для 7-суточной прочности, 1,25 – для 14-суточной.

Результаты определения предела прочности при изгибе образцов-балочек и предела прочности при сжатии половинок балочек студенты заносят в таблицу 6.16. Затем полученные результаты сравнивают с требованиями ГОСТ 10178-85 (с изм.) для портландцемента, приведенными в табл. 6.17, и делают заключение о марке испытанного цемента.

#### Обработка результатов

Таблица 6.16

Результаты определения предела прочности цемента при изгибе и сжатии

Наименование определяемых показателей	Значения для отдельных образцов						Среднее значение из двух наибольших результатов
	1	2	3				
Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )							
Разрушающая нагрузка при испытании на сжатие, кН (кгс)	Значения для отдельных образцов						Среднее значение из четырех наибольших результатов
	1	2	3	4	5	6	
Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )							

Таблица 6.17

Требования к маркам портландцемента и его разновидностей

Цемент	Марка	Предел прочности в возрасте 28 сут, МПа	
		при изгибе	при сжатии
Портландцемент обыкновенный и с минеральными добавками	400	5,5	40
	500	6	50
	550	6,2	55
	600	6,5	60
Шлакопортландцемент	300	4,5	30
	400	5,5	40
	500	6	50

## 6. Исследование зернового состава мелкого и крупного заполнителей.

### Определение модуля крупности песка. Определение марки щебня

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ПЕСКА

Цель работы – освоение методики определения зернового состава песка.

Оборудование: весы по ГОСТ 24104-88, набор сит и сита с круглыми отверстиями диаметрами 10, 5 и 2,5 мм, секундомер.

#### Теоретические сведения

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

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

$$Гр_5 = m_5 / m \cdot 100 \quad Гр_{10} = m_{10} / m \cdot 100,$$

где Гр<sub>5</sub> и Гр<sub>10</sub> – содержание в песке зерен крупностью соответственно 5–10 мм и выше 10 мм, %;

m – масса пробы, г;

m<sub>5</sub> и m<sub>10</sub> – остатки на ситах с круглыми отверстиями, равными соответственно 5 и 10 мм, г.

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

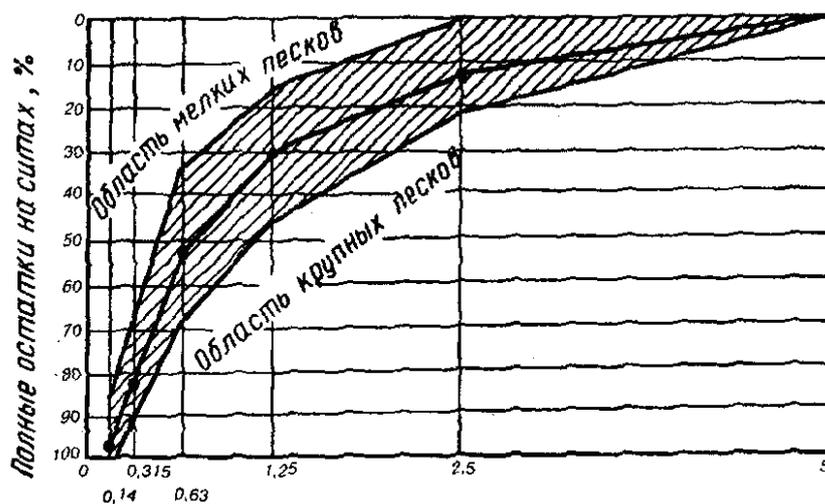


Рис. 7.5. График зернового состава песка

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

$$a_i = m_i / m \cdot 100,$$

где  $a_i$  – частный остаток, %;

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

$m$  – масса просеиваемой навески, г.

Затем с точностью до 0,1 % определяют полные остатки на каждом сите. Полный остаток  $A_i$ , %, определяют как сумму частных остатков на всех ситах с большим размером отверстий плюс остаток на данном сите по формуле:

$$A_i = a_{2,5} + \dots + a_i$$

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

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

Для оценки зернового состава песка и его пригодности для приготовления бетона результаты просеивания (по полным остаткам) наносят на график (рис. 7.5). На графике по оси абсцисс в определенном масштабе откладывают размеры отверстий на ситах с сеткой № 014; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5 и 5, а по оси ординат – значения полных остатков на соответствующих ситах, %. Полученные точки соединяют ломаной линией. Если кривая, характеризующая зерновой состав испытуемого песка, располагается в заштрихованной части графика, то такой песок признают годным для приготовления бетона. Если кривая располагается выше заштрихованной части, то песок считается мелким, а если ниже – крупным. В песке для бетонов и растворов не допускается наличие зерен размером более 10 мм. Зерен размером от 5 до 10 мм не должно быть более 5 % по массе. Количество мелких частиц, прошедших через сито № 014, не должно превышать 10 %.

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

$$M_K = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100,$$

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

Пески для строительных работ (ГОСТ 8736–93) в зависимости от зернового состава подразделяют на следующие группы: крупные, средние, мелкие и очень мелкие. Для каждой группы песков значения  $M_K$  и полный остаток на сите с сеткой № 063 должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Классификация песков по зерновому составу

Группа песков	$M_K$	Полный остаток на сите № 063, % по массе
Крупный	свыше 2,5	свыше 45
Средний	2-2,5	30-45
Мелкий	1,5-2	10-30
Очень мелкий	1-1,5	до 10

Для выполнения данной лабораторной работы подгруппу студентов разбивают по три-четыре человека, и каждая бригада определяет зерновой состав песка. Студенты каждой бригады просеивают пробу на наборе стандартных сит, после чего рассчитывают частные и полные остатки на ситах в процентах, а также вычисляют модуль крупности песка. Результаты заносят в таблицу 7.7 журнала для лабораторных и практических работ. В этом же журнале по полученным результатам каждый студент строит график зернового состава испытанного песка. Для сравнения рекомендуется наносить на график кривые состава песков, испытанных студентами смежных бригад.

Пример. После просеивания навески песка 1000 г масса частных остатков песка на каждом сите составила:  $m_{2,5} = 120$  г;  $m_{1,25} = 180$  г;  $m_{0,63} = 220$  г;  $m_{0,315} = 320$  г;  $m_{0,14} = 140$  г, прошло через сито с сеткой № 014 – 20 г.

Вычислим частные остатки на ситах по приведенной выше формуле:

$$a_{2,5} = m_{2,5} / m \cdot 100 = 120 / 1000 \cdot 100 = 12 \%;$$

$$a_{1,25} = m_{1,25} / m \cdot 100 = 180 / 1000 \cdot 100 = 18 \%;$$

$$a_{0,63} = m_{0,63} / m \cdot 100 = 220 / 1000 \cdot 100 = 22 \%;$$

$$a_{0,315} = m_{0,315} / m \cdot 100 = 320 / 1000 \cdot 100 = 32 \%;$$

$$a_{0,14} = m_{0,14} / m \cdot 100 = 140 / 1000 \cdot 100 = 14 \%.$$

Вычислим полные остатки на ситах по формуле:

$$A_{2,5} = a_{2,5} = 12 \%;$$

$$A_{1,5} = a_{2,5} + a_{1,25} = 12 + 18 = 30 \%;$$

$$A_{0,63} = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63} = 12 + 18 + 22 = 52 \%;$$

$$A_{0,315} = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63} + a_{0,315} = 12 + 18 + 22 + 32 = 84 \%;$$

$$A_{0,14} = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63} + a_{0,315} + a_{0,14} = 12 + 18 + 22 + 32 + 14 = 98 \%.$$

Результаты определения частных и полных остатков на ситах испытуемого песка запишем в табл. 7.7.

Таблица 7.7

Зерновой состав песка						
Остаток	Размеры отверстий сит, мм					Прошло через сито с сеткой № 014
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Частный, г	120	180	220	320	140	20
%	12	18	22	32	14	
Полный, %	12	30	52	84	98	

Нанесенная на график (см. рис. 7.5) ломаная линия, характеризующая зерновой состав испытываемого песка, расположена в заштрихованной области графика, что свидетельствует о пригодности песка для приготовления бетона.

Модуль крупности песка вычислим по формуле:

$$M_K = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100 = (12 + 30 + 52 + 84 + 98) / 100 = 2,76. \quad \text{По}$$

значениям модуля крупности (2,76) и полному остатку на сите с сеткой № 063 (52 %) испытываемый песок относится к крупному песку (см. табл. 7.6).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЩЕБНЯ (ГРАВИЯ)

Цель работы – освоение методики определения зернового состава щебня (гравия).

Оборудование: весы по ГОСТ 24104-88, сита и проволочные круглые калибры с отверстиями, соответствующими номинальным размерам зерен данной фракции 1,25D, D, 0,5(D+d), d, шкаф сушильный.

### Теоретические сведения

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

В зависимости от размера зерен щебень (гравий) подразделяют на следующие фракции: 5-10, 10-20; 20-40 и 40-70 мм. В каждой фракции гравия или щебня должны быть зерна всех размеров от наибольшего до наименьшего для данной фракции. Зерновой состав загрязненного нефракционированного щебня (гравия) определяют просеиванием с одновременной промывкой водой пробы заполнителя. В условиях учебной лаборатории при испытании щебня (гравия), зерна которого не имеют примесей глины, зерновой состав рекомендуется определять без одновременного промывания водой по приведенной ниже методике.

В данном случае крупный заполнитель высушивают до постоянной массы и берут для испытания пробу в количестве 5; 10; 20; 30 и 50 кг при наибольшей крупности его соответственно 10; 20; 40 и 70 мм. Щебень (гравий) просеивают через набор сит с отверстиями размером  $1,25D_{\text{НАИБ}}$ ;  $D_{\text{НАИБ}}$ ;  $0,5(D_{\text{НАИБ}} + D_{\text{НАИМ}})$ ;  $D_{\text{НАИМ}}$ , собранных в колонку, и определяют частные и полные остатки на каждом сите, % по массе рассеиваемой пробы. При отсутствии сит с отверстиями, диаметр которых точно равен  $1,25D_{\text{НАИБ}}$  и  $0,5(D_{\text{НАИБ}} + D_{\text{НАИМ}})$ , разрешается пользоваться ситами стандартного набора, размеры отверстий которых наиболее близки требуемым. Обычно рассеивают пробу через набор сит следующих размеров: 70; 40; 20; 10 и 5 мм.

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

Далее вычисляют остатки на каждом сите, % к суммарной массе просеянной пробы:

$$a_i = (m_i - 100) / \Sigma m,$$

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

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

По известным значениям частных остатков рассчитывают полные остатки, %, на каждом сите:

$$A_i = a_{70} + \dots + a_i,$$

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

Затем устанавливают наибольшую  $D_{НАИБ}$  и наименьшую  $D_{НАИМ}$  крупность зерен щебня (гравия). За наибольшую крупность зерен принимают размер отверстия того верхнего сита, на котором полный остаток не превышает 5 %, а за наименьшую крупность – размер отверстия нижнего сита, полный остаток на котором составляет не менее 95 %. Кроме того, вычисляют значения  $0,5(D_{НАИБ} + D_{НАИМ})$  и  $1,25D_{НАИБ}$ . Зерновой состав каждой фракции или смеси фракций должен находиться в пределах, указанных в табл. 7.15.

Таблица 7.15

Зерновой состав щебня (гравия)				
Размер контрольных сит	$D_{НАИМ}$	$0,5(D_{НАИБ} + D_{НАИМ})$	$D_{НАИБ}$	$1,25D_{НАИБ}$
Полный остаток на ситах, % по массе	от 90 до 100	от 30 до 80	До 10	До 0,5

Качество зернового состава щебня (гравия) оценивают значением полных остатков (в %) на ситах с контрольными отверстиями  $D_{НАИМ}$ ;  $0,5(D_{НАИБ} + D_{НАИМ})$ ,  $D_{НАИБ}$  и  $1,25D_{НАИБ}$ . Откладывая на графике (рис. 7.7) по оси ординат эти значения, получают четыре точки, которые соединяют ломаной линией. Щебень (гравий) признают годным по зерновому составу для приготовления бетона, если кривая его зернового состава располагается в заштрихованной части графика.

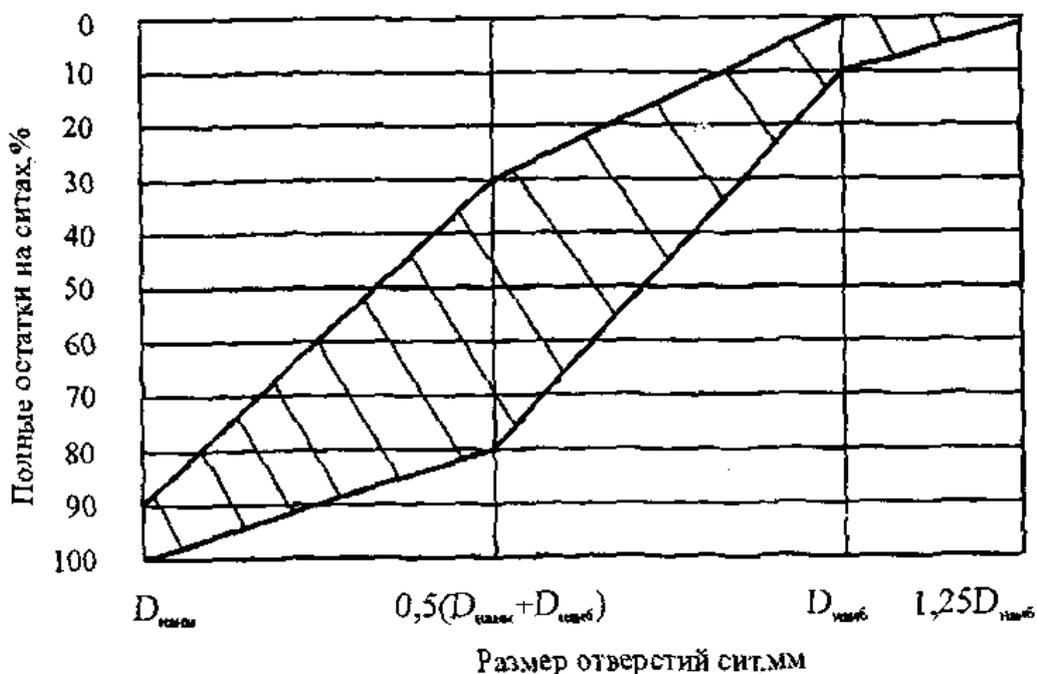


Рис. 7.7. График зернового состава щебня (гравия)

При выполнении данной лабораторной работы студенты определяют зерновой состав щебня или гравия, на зернах которого нет примесей глины, и он не сильно загрязнен пылью. При этом условии можно отказаться от промывания заполнителя водой. Пробу щебня (гравия) с наибольшей крупностью зерен 40 и 70 мм, высу-

шенную до постоянной массы, просеивают на наборе стандартных сит, после чего рассчитывают частные и полные остатки на ситах в процентах и результаты заносят в таблицу 7.16 журнала для лабораторных и практических работ. Затем наносят на график полные остатки на ситах с размерами отверстий  $D_{НАИМ}$ ,  $0,5(D_{НАИБ} + D_{НАИМ})$ ,  $D_{НАИБ}$  и  $1,25D_{НАИБ}$ , соединяют полученные точки и оценивают пригодность щебня (гравия) для приготовления бетона.

Для сравнения рекомендуется наносить на график кривые зернового состава щебня или гравия, испытанного студентами смежных бригад.

Пример. При просеивании навески 20 кг щебня наибольшей крупностью 40 мм частные остатки на каждом сите составили:  $m_{40} = 0,8$  кг,  $m_{20} = 10,2$  кг,  $m_{10} = 7,8$  кг,  $m_5 = 1$  кг;  $m_{05} = 0,2$  кг. Эти значения заносят в табл. 7.16. Сюда же заносят частные остатки  $a_i, \%$ , вычисленные по приведенной ранее формуле.  $\Sigma m$  можно принять равной массе взятой пробы, т.е. 20 кг. Затем вычисляют полные остатки  $A_i, \%$ , по формуле, приведенной выше, и заносят их в табл. 7.16.

Таблица 7.16

Зерновой состав щебня (масса 20 кг)						
Остаток на сите	Размеры отверстий сит, мм					Прошло через сито № 05
	70	40	20	10	5	
Частный, кг	–	0,8	10,2	7,8	1	0,2
%	–	4	51	39	5	1
Полный, %	–	4	55	94	99	100

По значению полных остатков устанавливают:  $D_{НАИМ} = 5$  мм;  $D_{НАИБ} = 40$  мм;  $0,5(D_{НАИБ} + D_{НАИМ}) = 0,5(5 + 40) \approx 20$  мм и  $1,25D_{НАИБ} = 50$  мм. После этого на график (см. рис. 7.7) наносят значения соответствующих полных остатков, %:  $A_5 = 99$ ,  $A_{20} = 55$ ,  $A_{40} = 4$  и  $A_{50}$  (в данном примере  $A_{70}$ ) = 0. Соединяя полученные точки ломаной линией, находят, что кривая зернового состава щебня располагается в заштрихованной части графика, а это свидетельствует о пригодности щебня для приготовления бетона.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЩЕБНЯ (ГРАВИЯ)

Цель работы – освоение методики определения прочности щебня (гравия).

Оборудование: весы по ГОСТ 24104-88, сита и проволочные круглые калибры с отверстиями, соответствующими номинальным размерам зерен данной фракции  $1,25D$ ,  $D$ ,  $0,5(D+d)$ ,  $d$ , шкаф сушильный, цилиндры стальные с внутренними диаметрами 75 и 150 мм и высотой соответственно 75 и 150 мм со съёмным дном и плунжером, сосуд для насыщения щебня (гравия) водой.

#### Теоретические сведения

Прочность щебня (гравия) оценивают косвенным показателем дробимости при сжатии в цилиндре. Это испытание крупного заполнителя выполняют следующим образом.

Щебень (гравий) фракций 5-10; 10-20 или 20-40 мм просеивают через сита с отверстиями, соответствующими наибольшей  $D_{НАИБ}$  и наименьшей  $D_{НАИМ}$  крупности испытуемой фракции. Щебень (гравий) крупнее 40 мм предварительно дробят до

фракции 10-20 и 20–40 мм, которые затем подвергаются испытанию. Из остатка на сите с отверстиями размером, равным  $D_{\text{НАИМ}}$ , отбирают пробу массой не менее 0,5 кг для испытания в цилиндре диаметром 75 мм, или не менее 4 кг для испытания в цилиндре диаметром 150 мм. Щебень (гравий) испытывают в сухом или насыщенном водой состоянии, для чего заполнитель высушивают до постоянной массы и погружают в воду на 2 ч. После насыщения в воде его обтирают мягкой влажной тканью.

Для определения марки щебня (гравия) по дробимости в цилиндре пробу помещают в цилиндр со съёмным дном (рис. 7.8) диаметром 150 мм; для текущего контроля качества щебня (гравия) фракции 5–10 и 10–20 мм используют цилиндр диаметром 75 мм. Для испытания щебня (гравия) в цилиндре диаметром 75 мм из подготовленной пробы берут навеску 0,4 кг, а при испытании в цилиндре диаметром 150 мм – 3 кг. Навеску щебня (гравия) высыпают с высоты 5 см в соответствующий цилиндр, разравнивают верхний уровень материала так, чтобы он примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра. Затем вставляют в цилиндр плунжер, при этом его плита должна быть на уровне верхнего края цилиндра. В случае если верх плиты не совпадает с краем цилиндра, удаляют или добавляют несколько зерен испытываемого заполнителя (масса этих зерен должна быть учтена в расчете). После этого цилиндр устанавливают на нижнюю плиту гидравлического пресса. Повышая усилие пресса со скоростью 1–2 кН/с, доводят его при испытании щебня (гравия) в цилиндре диаметром 75 мм до 50 кН, а при испытании в цилиндре диаметром 150 мм – до 200 кН. После сжатия испытываемую пробу заполнителя высыпают из цилиндра и взвешивают. Затем раздробленный в цилиндре щебень (гравий) просеивают через сито, диаметр отверстий которого зависит от размера испытываемой фракции. Для фракции 5–10 мм размер отверстия сита – 11,25 мм, для фракции 10–20 мм – 2,5 мм и для фракции 20–40 мм – 5 мм.

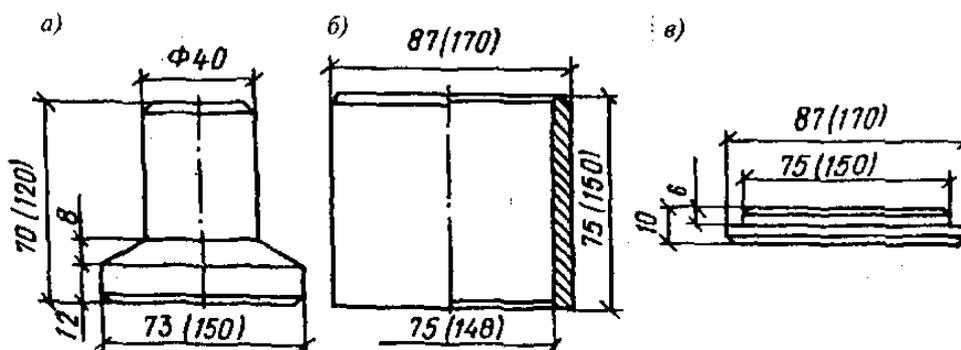


Рис. 7.8. Стальной цилиндр со съёмным дном и плунжером

В случае, когда заполнитель подвергают испытанию в насыщенном водой состоянии, пробу на сите промывают водой и удаляют поверхностную влагу с зерен с помощью мягкой влажной ткани.

Остаток щебня (гравия) после просеивания на сите взвешивают и определяют показатель дробимости  $D_p$  с точностью до 1 %:

$$D_p = [(m_1 - m_2) / m_1] \cdot 100,$$

где  $m_1$  – масса навески щебня (гравия) до испытания, кг;

$m_2$  – остаток на сите после просеивания раздробленного в цилиндре щебня (гравия), кг.

Результаты опытов заносят в таблицу 7.17.

Результаты определения прочности состава щебня (гравия)

№ пробы	Масса навески щебня (гравия) до испытания $m_1$ , кг	Остаток на сите после просеивания раздробленного щебня (гравия) $m_2$ , кг	Показатель дробимости пробы щебня (гравия) $D_p$ , %	Показатель дробимости щебня (гравия), %

Испытания проводят два раза, и показатель дробимости щебня (гравия) вычисляют как среднее арифметическое двух определений. При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более смежных фракций, показатель дробимости вычисляют как средневзвешенное результатов испытания отдельных составляющих фракций. В зависимости от показателя дробимости щебень (гравий) подразделяют на следующие марки: Др8 (при потере массы до 8 %), Др12 (при потере массы от 8 до 12 %), Др16 (при потере массы от 13 до 16 %) и Др24 (при потере массы от 16 до 24 %).

Приведенным выше данным для марок гравия по дробимости в цилиндре соответствуют следующие ориентировочные значения интервалов прочности при сжатии горных пород, слагающих зерна гравия: Др8 – св. 100 МПа; Др 12 – 80–100 МПа; Др16 – 60–80МПа; Др24 – 40–60 МПа.

Для предварительной оценки пригодности гравия (щебня) по их прочности (дробимости) в цилиндре для бетона различной прочности пользуются следующими данными:

Прочность бетона, МПа	40 и выше	30	20 и ниже
Марка гравия и щебня из гравия по дробимости в цилиндре, не более	8	12	16

## 7. Расчет ориентировочного состава тяжелого бетона

Цель работы – освоение методики подбора тяжелого бетона.

Оборудование: весы по ГОСТ-24104-88, формы для изготовления контрольных образцов бетона по ГОСТ 22685, сито с размером отверстий 1,25 мм, шкаф сушильный, конус нормальный.

### Теоретические сведения

Подбор состава тяжелого (обычного) бетона заключается в установлении наиболее рационального соотношения между составляющими бетон материалами (цементом, водой, песком, щебнем или гравием). Такое соотношение должно обеспечивать требуемую удобоукладываемость бетонной смеси для принятого способа ее уплотнения, а также приобретение бетоном заданной прочности в назначенный срок при наименьшем расходе цемента. В отдельных случаях вводят также требования о получении бетона необходимой плотности, морозостойкости, водонепроницаемости.

Состав бетона выражают расходом всех составляющих материалов по массе на  $1 \text{ м}^3$  уложенной и уплотненной бетонной смеси или отношением массы составляющих материалов смеси к массе цемента, принимаемой за единицу, т. е. 1 : x : y (цемент : песок : щебень или гравий) при В/Ц = 2. Например, в первом случае состав бетона: цемента – 280, песка – 670, щебня – 1300, воды – 170 кг/м<sup>3</sup>, а во втором случае: 1:2,4:4,7 при В/Ц = 0,6.

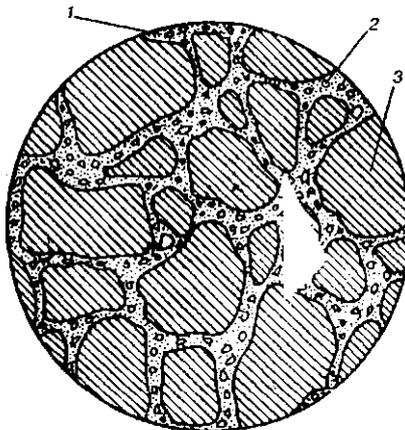


Рис. 9.1. Схема структуры затвердевшего тяжелого бетона  
1 – цементный кармень; 2 – песок; 3 – щебень

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

Для расчета состава тяжелого бетона имеется несколько методов, среди которых наиболее простым и удобным является метод расчета по «абсолютным объемам». При этом методе предполагается, что свежеприготовленная бетонная смесь после укладки в форму или в опалубку и уплотненная в ней не будет иметь пустот.

Состав бетона по методу «абсолютных объемов» подбирают в два этапа. Вначале рассчитывают ориентировочный состав бетона, затем расчет проверяют и уточняют по результатам пробных замесов и испытаний контрольных образцов.

**Расчет ориентировочного состава бетона.** Для расчета состава тяжелого бетона необходимо иметь следующие данные: заданную марку бетона  $R_b$ , требуемую удобоукладываемость бетонной смеси, определяемую осадкой конуса ОК, см, а также характеристику исходных материалов - вид и активность цемента  $R_{ц}$ , насыпную плотность составляющих  $\rho_{н.ц}$ ,  $\rho_{н.п.}$ ,  $\rho_{н.щ(г)}$  и их истинную плотность  $\rho_{ц}$ ,  $\rho_{п.}$ ,  $\rho_{щ(г)}$ , пустотелость щебня или гравия  $V_{п.щ(г)}$ , наибольшую крупность их зерен и влажность заполнителей  $w_{п}$  и  $w_{щ(г)}$ .

Состав бетона для пробных замесов рассчитывают в следующей последовательности: вычисляют водоцементное отношение, расход воды, расход цемента, после чего определяют расход крупного и мелкого заполнителя на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси.

Водоцементное отношение В/Ц вычисляют исходя из требуемой марки бетона, активности цемента и с учетом вида и качества составляющих по следующим формулам:

для бетонов с водоцементным отношением  $В/Ц > 0,4$

$$R_o = AR_{ц} / (Ц / B - 0,5);$$

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

$$R_o = A_1 R_{ц} / (Ц / B + 0,5),$$

где  $R_o$  – марка бетона, МПа;

$R_{ц}$  – активность цемента, МПа;

$A$  и  $A_1$  – коэффициенты, учитывающие качество материалов (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Значения коэффициентов  $A$  и  $A_1$

Характеристика заполнителей и цемента	$A$	$A_1$
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,6	0,4
Пониженного качества	0,55	0,37

Примечания: 1. К высококачественным материалам относят щебень из плотных горных пород высокой прочности, песок оптимальной крупности и портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством гидравлической добавки в его составе; заполнители должны быть чистые и фракционированные. 2. К рядовым материалам относят заполнители среднего качества, в том числе гравий, портландцемент средней активности или высокомарочный шлакопортландцемент. 3. К материалам пониженного качества относят крупные заполнители низкой прочности, мелкие пески, цементы низкой активности.

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

$$B / Ц = (AR_{ц}) / (R_o + 0,5AR_{ц}) \text{ или}$$

$$B / Ц = (A_1 R_{ц}) / (R_o - 0,5A_1 R_{ц})$$

Расход воды (водопотребность), л/м<sup>3</sup>, ориентировочно определяют исходя из заданной удобоукладываемости бетонной смеси по табл. 9.2, которая составлена с учетом вида и крупности зерен заполнителя.

Таблица 9.2

Водопотребность бетонной смеси

Удобоукладываемость бетонной смеси			Расход воды, кг/м <sup>3</sup> при наибольшей крупности заполнителя, мм					
Осадк а конус а. см	Жесткость, с		гравия			щебня		
	по ГОСТ 10181.1-81	по техническ ому вискозиме тру	10	20	40	10	20	40
0	31	120 – 90	150	135	125	160	145	135
0	30 – 20	80 – 60	160	145	130	170	155	145
0	20 – 11	50 – 30	165	150	135	175	160	150
0	10 – 5	15 – 30	175	160	145	185	170	155

1-2	–	–	185	170	155	195	180	165
3-4	–	–	195	180	165	205	190	175
5-6	–	–	200	185	170	210	195	180
7-8	–	–	205	190	175	215	200	185
9-10	–	–	215	200	185	225	210	195

Примечание. Данные таблицы справедливы для бетонной смеси на портландцементе и песке средней крупности. При использовании пуццоланового портландцемента расход воды увеличивается на 20 кг/м<sup>3</sup>; в случае применения мелкого песка взамен среднего расход воды также увеличивается на 10 кг, а при использовании крупного песка уменьшается на 10 кг.

*Расход цемента* на 1 м<sup>3</sup> бетона вычисляют по уже известному водоцементному отношению и определенной по табл. 9.2 водопотребности бетонной смеси. Если расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона окажется меньше минимально допустимого (200–220 кг/м<sup>3</sup>), то из условия получения плотного бетона расход цемента увеличивают до требуемой нормы или вводят тонкомолотую добавку.

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

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

$$Ц / \rho_{Ц} + В / \rho_{В} + П / \rho_{П} + Щ(Г) / \rho_{Щ(Г)} = 1,$$

Где Ц, В, П, Щ (Г) – расход цемента, воды, песка и щебня (гравия) кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{Ц}$ ,  $\rho_{В}$ ,  $\rho_{П}$ ,  $\rho_{Щ(Г)}$  – истинная плотность этих материалов, кг/м<sup>3</sup>;

$Ц / \rho_{Ц}$ ,  $В / \rho_{В}$ ,  $П / \rho_{П}$ ,  $Щ(Г) / \rho_{Щ(Г)}$  – абсолютные объемы материалов, м<sup>3</sup>.

2. Цементно-песчаный раствор заполнит пустоты в крупном заполнителе с некоторой раздвижкой зерен, т. е.

$$Ц / \rho_{Ц} + В / \rho_{В} + П / \rho_{П} = V_{п.щ(Г)} (Щ(Г) / \rho_{Щ(Г)}) \alpha,$$

где  $V_{п.щ(Г)}$  – пустотность щебня (гравия) в рыхлом состоянии;

$\rho_{Щ(Г)}$  – насыпная плотность щебня (гравия), кг/м<sup>3</sup>;

$\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен щебня (гравия), принимают в зависимости от расхода цемента и водоцементного отношения (для пластичных смесей по табл. 9.3, для жестких – 1,05–1,2).

Таблица 9.3

Значения коэффициента для пластичных бетонных смесей

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент $\alpha$ при В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	–	–	1,26	1,32	1,38
300	–	1,3	1,36	1,42	–
350	1,32	1,38	1,44	–	–
400	1,4	1,46	–	–	–

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

$$Щ(\Gamma) = 1 / \left[ (V_{п.щ(\Gamma)} \alpha) / (\rho_{н.щ(\Gamma)}) + 1 / \rho_{н.щ(\Gamma)} \right]$$

После определения расхода щебня (гравия) рассчитывают расход песка, кг/м<sup>3</sup>, как разность между проектным объемом бетонной смеси и суммой абсолютных объемов цемента, воды и крупного заполнителя по формуле

Определив расход компонентов Ц, В, П, Щ(Г) на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг, вычисляют ее расчетную среднюю плотность  $\rho_{б.см} = Ц + В + П + Щ(\Gamma)$ , кг/м<sup>3</sup>, и коэффициент выхода бетона  $\beta$  – делением объема бетонной смеси (1 м<sup>3</sup>) в уплотненном состоянии на сумму объемов сухих составляющих, затраченных на ее приготовление:

$$\beta = 1 / (V_{ц} + V_{п} + V_{щ(\Gamma)}) = 1 / \left( \frac{Ц}{\rho_{н.ц.}} + \frac{П}{\rho_{н.п.}} + \frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{н.щ(\Gamma)}} \right),$$

$V, V_{п}, V_{щ(\Gamma)}$  – объем сухих составляющих, затраченных на приготовление 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, м<sup>3</sup>

Ц, П, Щ(Г) – расход сухих материалов, кг/м<sup>3</sup> бетона;

$\rho_{н.ц.}, \rho_{н.п.}, \rho_{н.щ(\Gamma)}$  – насыпная плотность сухих материалов, кг/м<sup>3</sup>.

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

## 8. Приготовление бетонной смеси с заданными характеристиками.

### Определение марки и класса бетона.

**Уточнение расчетного состава бетона пробными замесами.** После выполнения расчета состава бетона готовят пробный замес бетонной смеси объемом 30-50 л и определяют ее подвижность или жесткость. Методика определения подвижности и жесткости этонной смеси приведена в лаб.р. №9.2. Если бетонная смесь получилась менее подвижной, чем требуется, то увеличивают количество цемента порциями по 10 % первоначального и добавляют соответствующее цементно-водному отношению количество воды. В том случае, когда подвижность смеси получилась больше требуемой, добавляют небольшими порциями песок и крупный заполнитель, сохраняя отношение их постоянным. Таким путем добиваются заданной подвижности бетонной смеси.

Объем замеса бетонной смеси, полученной после корректирования состава ее по подвижности, может быть определен делением общей массы израсходованных материалов на среднюю плотность бетонной смеси:

$$V_3 = (Щ_3 + B_3 + П_3 + Щ(\Gamma)_3) \rho_{б.см},$$

где  $V_3$  – объем замеса бетонной смеси, м<sup>3</sup>;

$Щ_3, B_3, П_3, Щ(\Gamma)_3$  – соответственно масса цемента, воды, песка и щебня (гравия), израсходованных на замес, кг;

$\rho_{б.см}$  – средняя плртность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>.

Зная объем бетонной смеси и расход материалов для получения этого объема, можно рассчитать расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси:

$$Ц = Ц_3 \cdot 1 / V_3;$$

$$B = B_3 \cdot 1 / V_3;$$

$$П = П_3 \cdot 1/V_3;$$

$$Щ(\Gamma) = Щ(\Gamma)1/V_3.$$

Помимо данного замеса, для уточнения состава бетона рекомендуется готовить еще два пробных замеса того же объема, что и первый, но в одном - водоцементное отношение принимается больше на 20 %, а в другом - меньше на 20 %, чем у основного замеса. Для двух дополнительных составов бетона определяют расход воды, цемента, крупного заполнителя и песка аналогично приведенному выше расчету.

Из бетонной смеси каждого замеса изготавливают по три контрольных образцов-куба размером 150x150x150 мм, которые испытывают на сжатие через 28 сут нормального твердения. По результатам испытаний строят график  $R_b = f(B/C)$ , по которому выбирают водоцементное отношение, обеспечивающее получение бетона заданной марки.

Методика приготовления пробного замеса в условиях строительной лаборатории состоит в следующем. Цемент тщательно перемешивают и просеивают через сито с сеткой № 1,25, остаток на сите удаляют. Заполнители высушивают до постоянной массы при температуре не выше 80 °С. Компоненты дозируют по массе с точностью взвешивания 0,1 %. Составляющие бетонной смеси перемешивают вручную или механическим способом. Объем бетонной смеси одного замеса при ручном перемешивании (лопатами) не должен превышать 50 л.

На металлическую форму-боек размером в плане 1x2 м сначала высыплют отвешенное количество песка, затем добавляют цемент и перемешивают до получения смеси однородного цвета; затем добавляют крупный заполнитель и всю смесь перемешивают до тех пор, пока щебень (гравий) не будет равномерно распределен в сухой смеси; в середине смеси делают углубление, куда вливают половину отмеренной воды, осторожно перемешивают и, добавив остальную часть воды, энергично перемешивают бетонную смесь до достижения ею однородности. Длительность перемешивания (от момента приливания воды) должна составлять при объеме замеса до 3 л – 5 мин, до 50 л – 10 мин.

При механическом перемешивании материалы в бетоносмеситель загружают в следующей последовательности: песок, цемент, крупный заполнитель, вода; длительность перемешивания должна составлять 2 мин с момента окончания загрузки всех материалов.

На пробных замесах проверяют подвижность или жесткость бетонной смеси, а также определяют ее среднюю плотность, которая должна совпадать с расчетной.

По результатам пробных замесов и испытаний контрольных образцов-кубов вносят коррективы в расчетный состав бетона. При этом учитывают фактическую влажность заполнителей и пересчитывают номинальный состав бетонной смеси на производственный. При таком пересчете количество влажных заполнителей увеличивают на столько, чтобы содержание в них сухого материала равнялось расчетному, а количество вводимой в замес воды уменьшают на значение, равное содержанию воды в заполнителях.

Среднюю плотность уплотненной бетонной смеси можно определить при изготовлении контрольных образцов-кубов, взвешивая пустую форму и форму с уплотненной бетонной смесью.

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

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{П}{Ц} : \frac{Щ(\Gamma)}{Ц} = 1 : \frac{П}{Ц} : \frac{Щ(\Gamma)}{Ц};$$

по объему состав бетона выражают следующим образом:

$$\frac{V_{Ц}}{V_{Ц}} : \frac{V_{П}}{V_{Ц}} : \frac{V_{Щ(\Gamma)}}{V_{Ц}} = 1 :: \frac{V_{П}}{V_{Ц}} : \frac{V_{Щ(\Gamma)}}{V_{Ц}}$$

где Ц, П, Щ(Г) – расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона по массе, кг;

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

Расчет дозировки составляющих бетонной смеси на один замес бетоносмесителя определенного объема с учетом найденного коэффициента выхода бетона выполняют по следующим формулам (кг на 1 м<sup>3</sup>):

$$Ц_v = \frac{\beta V}{1};$$

$$B_v = \frac{\beta V}{1} B;$$

$$П_v = \frac{\beta V}{1} П;$$

$$Щ(\Gamma)_v = \frac{\beta V}{1} Щ(\Gamma),$$

Где  $Ц_v, B_v, П_v, Щ(\Gamma)_v$  соответственно масса цемента, воды, песка, щебня (гравия), кг, на замес в бетоносмесителе с барабаном объемом  $V$ , м<sup>3</sup>;

Ц, В, П, Щ(Г) – расход материалов с естественной влажностью, кг/м<sup>3</sup> бетона.

При проведении данной лабораторной работы подгруппу студентов разделяют на бригады по три-четыре человека и каждой бригаде поручают запроектировать бетон определенной марки, но одинаковой подвижности.

Студенты каждой бригады выполняют самостоятельно расчет состава бетона, приготавливая пробные замесы, корректируют состав бетонной смеси по подвижности, изготавливают контрольные образцы и испытывают их в заданные сроки.

Для лучшей организации учебного процесса при проведении лабораторных занятий, контрольные образцы-кубы рекомендуется испытывать не через 28 сут, а на следующем занятии, т. е. через 7 или 14 суток, пользуясь при этом коэффициентами 1,5 (для 7 суток) и 1,25 (для 14 суток).

Затем студенты совместно с преподавателем на основании полученных каждой бригадой данных строят график зависимости прочности бетона от В/Ц, по которому определяют действительное водоцементное отношение бетона заданной марки.

В сводную таблицу журнала для лабораторных и практических работ студенты заносят результаты всех определений и устанавливают действительный состав бетонной смеси, обеспечивающий получение бетона заданной марки.

Пример. Требуется подобрать состав тяжелого бетона марки

$R_b = 30$  МПа для бетонирования монолитных балок и колонн среднего сечения и рассчитать расход материалов на замес в бетоносмесителе с полезным объемом барабана 1200 л; подвижность бетонной смеси ОК – 3 см.

Характеристика исходных материалов: портландцемент активностью  $R_{ц} = 47$  МПа, насыпная плотность сухих составляющих  $\rho_{н.ц} = 1200$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{н.п.} = 1500$  кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{н.щ.} = 1600$  кг/м<sup>3</sup>, а их истинная плотность  $\rho_{ц} = 3100$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{п} = 2620$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{щ} = 2800$  кг/м<sup>3</sup>; пустотность гранитного фракционированного щебня  $V_{п.щ.} = 0,43$ , наибольшая крупность зерен щебня 40 мм; влажность крупного кварцевого песка  $W_{п} = 3\%$ ; влажность щебня  $W_{щ} = 1\%$ .

1. Водоцементное отношение определяют по формуле:

$$R_o = AR_{ц} (Ц / B - 0,5)$$

После преобразования относительно В/Ц формула примет вид:

$$B / Ц = AR(\rho_o + 0,5AR_{ц}) = 0,65 \cdot 47(30 + 0,5 \cdot 0,65 \cdot 47) = 0,68.$$

Значение  $A = 0,65$  выбрано по табл. 9.1 как для высококачественных материалов.

2. Расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси определяют по табл. 9.2, учитывая заданную осадку конуса бетонной смеси для бетонирования балок и колонн ОК = 3 см. Для получения бетонной смеси такой подвижности с применением в качестве крупного заполнителя щебня с наибольшей крупностью зерен 40 мм, расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси должен составлять 175 кг.

3. Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$Ц = B / (B / Ц) = 175 / 0,68 = 259 \text{ кг}$$

4. Расход щебня в сухом состоянии на 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$Щ = 1 / (V_{п.щ.} \alpha / \rho_{н.щ.} + 1 / \rho_{щ}) = 1 / (0,43 - 1,3 / 1600 + 1 / 2800) = 1416 \text{ кг}$$

Значение коэффициента раздвижки зерен  $\alpha = 1,3$  выбрано по табл. 9.3.

5. Расход песка в сухом состоянии на 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$\begin{aligned} П &= [1 - (Ц / \rho_{ц} + B / 1000 + Щ / \rho_{щ})] \rho_{п} = \\ &= [1 - (259 / 3100 + 175 / 1000 + 1416 / 2800)] 2620 = 617 \text{ кг} \end{aligned}$$

В результате расчетов получают ориентировочный номинальный (лабораторный) состав бетона, кг/м<sup>3</sup>:

цемент	– 259
вода	– 175
песок	– 617
щебень	– 1416
Итого	– 2467

Полученное в итоге значение является расчетной средней плотностью бетонной смеси, т.е.  $\rho_{б.см} = 2467$  кг/м<sup>3</sup>.

6. Коэффициент выхода бетона:

$$\begin{aligned} B &= 1 / (V_{ц} + V_{п} + V_{щ}) = 1 / (Ц / \rho_{н.ц.} + П / \rho_{н.п.} + Щ / \rho_{н.щ.}) = \\ &= 1 / (259 / 1200 + 617 / 1500 + 1416 / 1600) = 0,66 \end{aligned}$$

7. Расход материалов на 0,05 м<sup>3</sup> (50 л) бетонной смеси пробного замеса рассчитывают, исходя из приведенного выше номинального состава бетона, кг:

цемент	= 259 · 0,05 = 12,95
вода	= 175 · 0,05 = 8,75
песок	= 617 · 0,05 = 30,85
щебень	= 1416 · 0,05 = 70,8

Отвешивают расчетное количество материалов и приготавливают бетонную смесь, подвижность которой определяют с помощью стандартного конуса. Если осадка конуса 1 см, т. е. меньше заданной (как в нашем примере), то для увеличения подвижности бетонной смеси добавляют 10 % цемента и воды (цемента  $12,95 \cdot 0,1 = 1,295$  кг; воды  $8,75 \cdot 0,1 = 0,875$  кг). Бетонную смесь с добавкой цемента и воды дополнительно хорошо перемешивают и проверяют подвижность. Если при проверке подвижности осадка конуса окажется 3 см, т. е. будет соответствовать заданной, опыт заканчивают и устанавливают действительный расход материалов с учетом добавления 10 % цемента и воды, определяя их абсолютный объем, м<sup>3</sup>:

$$\text{цемент} - (12,95 + 1,295) / 3100 = 0,0046$$

$$\text{вода} - (8,75 + 0,875) / 1000 = 0,0097$$

$$\text{песок} - 30,85 / 2620 = 0,0116$$

$$\text{щебень} - 70,1 / 2800 = 0,0254$$

Всего 0,0513

8. Зная объем бетонной смеси пробного откорректированного замеса  $V_3$  и фактический расход материалов  $C_3, B_3, П_3, Щ_3$ , рассчитывают расход материалов на 1 м<sup>3</sup> (1000 л) бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>:

$$C = C_3 / V_3 = 14,25 / 0,0513 = 277$$

$$B = B_3 / V_3 = 9,63 / 0,0513 = 187$$

$$П = П_3 / V_3 = 30,85 / 0,0513 = 599$$

$$Щ = Щ_3 / V_3 = 70,1 / 0,0513 = 1366$$

Всего 2429

Фактическая плотность свежееуложенной бетонной смеси  $\rho_{б.см} = 2429$  кг/м<sup>3</sup>, т.е. отличается от расчетной менее чем на 1 %.

9. Производственный (полевой) состав бетона вычисляют, принимая во внимание влажность заполнителей (в данном примере влажность песка 3 % и щебня 1 %), в связи с чем необходимое количество воды уменьшают:

$$188 - (3 \cdot 599 / 100 + 1 \cdot 1366 / 100) = 188 - (18 + 14) = 156 \text{ кг.}$$

При этом количество заполнителей соответственно увеличивают:

$$\text{Песок} - 599(1 + 3/100) = 599 + 18 = 617 \text{ кг}$$

$$\text{Щебень} - 1366(1 + 1/100) = 1366 + 14 = 1380 \text{ кг}$$

Для получения производственного состава в соотношениях по массе расход каждого компонента бетонной смеси, кг, делят на расход цемента:

$$C / C : П / C : Щ / C =$$

$$277 / 277 : 617 / 277 : 1380 / 277 = 1 : 2,2 : 5$$

при  $B / C = 0,56$

10. Дозировку составляющих бетонной смеси на один замес бетоносмесителя с полезным объемом барабана 1,2 м<sup>3</sup> (1200 л) определяют по формулам:

$$C_v = \beta VЦ / 1 = 0,68 \cdot 1,2 \cdot 277 / 1 = 226 \text{ кг};$$

$$П_v = \beta VП / 1 = 0,68 \cdot 1,2 \cdot 617 / 1 = 503 \text{ кг};$$

$$B_v = \beta VB / 1 = 0,68 \cdot 1,2 \cdot 156 / 1 = 127 \text{ кг};$$

$$Щ_v = \beta VЩ / 1 = 0,68 \cdot 1,2 \cdot 1380 / 1 = 1125 \text{ кг}.$$

11. В лаборатории из приготовленной бетонной смеси пробных замесов объемом по 50 л делают контрольные образцы-кубы размером 150x150x150 мм, которые после хранения в нормальных условиях испытывают в заданные сроки (обычно 7 и 28 суток) на гидравлическом прессе. По результатам испытаний строят график и уточняют водоцементное отношение, обеспечивающее получение бетона заданной марки.

В учебной лаборатории в целях экономии материалов объем замеса бетонной смеси может быть принят 25 л при изготовлении 6 образцов-кубов размером 150x150x150 мм и 10 л при изготовлении такого же количества образцов-кубов размером 100x100x100 мм.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Цель работы – освоение методики определения основных свойств бетонной смеси.

Оборудование: весы по ГОСТ 24104-88, секундомер, Формы для изготовления контрольных образцов бетона по ГОСТ 22685, конус нормальный, противень, штыковка, прямой металлический гладкий стержень диаметром 16 мм, длиной 600 мм с округленными концами, виброплощадка лабораторная кельма типа КБ.

#### Теоретические сведения

Свойства бетонной смеси в значительной мере определяют качество полученного из нее бетона, поэтому их систематически контролируют работники лабораторий заводов железобетонных изделий и строительных организаций.

От контролируемой бетонной смеси отбирают среднюю пробу. На месте приготовления бетонной смеси среднюю пробу отбирают при выгрузке смеси из бетоносмесителя. Если смесь выгружают из бетоносмесителя периодического действия, пробу отбирают в три приема: в начале, середине и конце разгрузки; если из смесителя непрерывного действия, то также в три приема, но с интервалами 1 мин.

После выгрузки бетонной смеси на месте укладки из транспортных средств пробу отбирают из нескольких мест одинаковыми порциями. Объем средней пробы бетонной смеси не должен быть менее 20 л. Отобранную пробу тщательно перемешивают вручную и не позднее чем через 10 мин после окончания перемешивания начинают испытывать, определяя удобоукладываемость и среднюю плотность.

Удобоукладываемость характеризует способность бетонной смеси заполнять форму бетонируемого изделия и уплотняться в ней под действием силы тяжести или внешних механических воздействий. Это свойство бетонной смеси оценивают подвижностью или жесткостью.

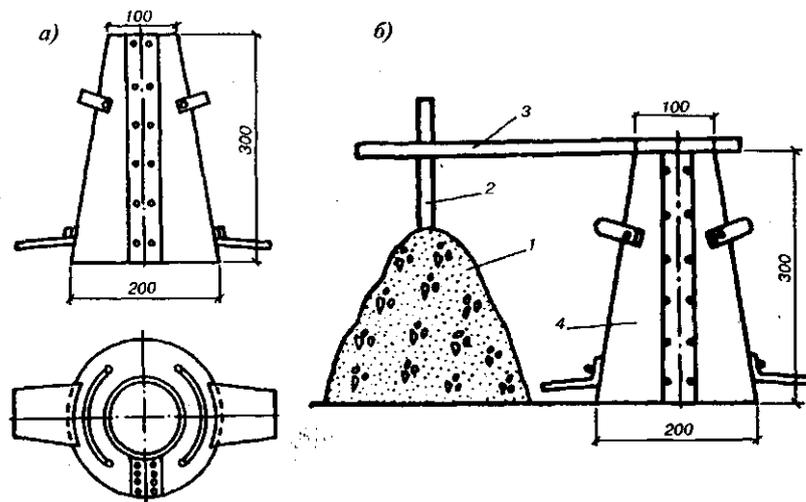


Рис. 9.2. Определение подвижности бетонной смеси

а – стандартная форма-конус; б- измерение осадки бетонного конуса; 1 – осевший конус бетонной смеси; 2 – линейка с делениями; 3 – металлическая линейка; 4 – форма-конус

Подвижность бетонной смеси с наибольшей крупностью заполнителя 40 мм включительно определяют при помощи стандартного конуса (рис. 9.2, а), который представляет собой металлическую форму без дна в виде усеченного конуса высотой 300 мм, диаметром верхнего основания 100 и нижнего – 200 мм.

Форму, предварительно очищенную, протирают изнутри влажной тканью и устанавливают на плоскую горизонтальную поверхность, не впитывающую влагу (например, на металлический противень, фанеру или кусок линолеума). Затем через воронку форму заполняют тремя равными по высоте слоями бетонной смеси с уплотнением каждого слоя 25-кратным штыкованием металлическим стержнем диаметром 16 и длиной 600 мм с округленными концами. Во время штыкования бетонной смеси форма должна быть прижата к основанию.

После укладки и штыкования последнего слоя воронку снимают и избыток бетонной смеси срезают кельмой вровень с краями формы. Затем форму снимают строго вертикально так, чтобы не разрушить бетонный конус. Освобожденная от формы бетонная смесь под действием собственной массы начинает оседать. После окончания осадки снятую форму осторожно устанавливают рядом с осевшим конусом бетона. На верхнее основание формы конуса укладывают металлическую или деревянную линейку, от нижнего ребра которой другой линейкой измеряют осадку бетонной смеси с точностью до 0,5 см (рис. 9.2, б). В тех случаях, когда после снятия конуса бетонная смесь сильно деформируется (разваливается) и приобретает форму, затрудняющую определение ее осадки, измерение не выполняют и повторяют испытания на новой порции бетонной смеси.

При проведении данного испытания время, затраченное на подъем конуса, должно составлять 5-7 с. Общее время испытания с начала наполнения конуса и до момента измерения осадки бетонной смеси не должно превышать 10 мин.

Осадку бетонной смеси определяют дважды. За результат принимают среднее арифметическое двух определений, отличающихся одно от другого не более чем на 1 см при ОК = 4 см, не более чем на 2 см при ОК = 5–9 см и не более чем на 3 см при ОК = 10 см. Значение осадки конуса, см, характеризует подвижность испытываемой бетонной смеси.

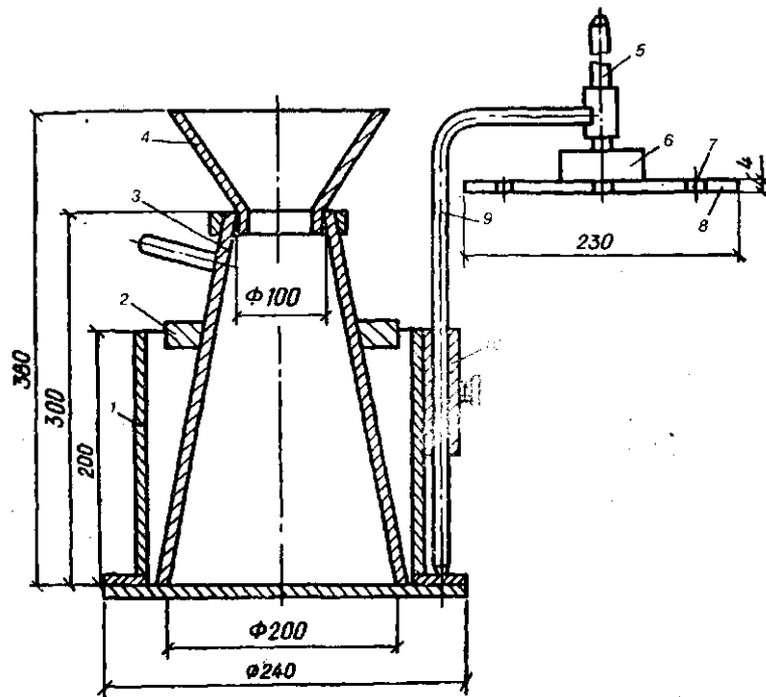


Рис. 9.3. Прибор для определения жесткости бетонной смеси

При максимальной крупности зерен заполнителя более 70 мм подвижность бетонной смеси определяют с помощью увеличенного конуса высотой 450 мм с внутренним диаметром нижнего основания 300 мм и верхнего 150 мм и каждый слой в форме-конусе штыкуют 56 раз. Значение осадки конуса бетонной смеси приводится к значению осадки стандартного конуса умножением на коэффициент 0,67.

По степени подвижности бетонные смеси подразделяют на малоподвижные с осадкой конуса 1–3 см, подвижные – 5–15 см и литые – более 15 см. Если при определении подвижности бетонной смеси осадка конуса равна нулю, смесь признают не обладающей требуемой подвижностью.

Результаты опытов заносят в таблицу 9.4.

Таблица 9.4.

Результаты определения подвижности бетонной смеси

Марка и вид бетона, изготавливаемого из смеси	Результаты частных испытаний, см	Среднеарифметический результат, см

*Жесткость бетонной смеси* с максимальной крупностью зерен заполнителя 40 мм включительно определяют с помощью прибора (рис. 9.3), который состоит из кольца 1, конуса 3, воронки 4, изготовленных из листовой стали с гладкой поверхностью. На вертикальной стенке кольца 1 закреплена фиксирующая втулка 10, в которой вращается штатив 9 с диском 8, прикрепленным через шайбу 6 к штанге 5. На диске имеется шесть отверстий 7 диаметром по 5 мм.

При определении жесткости бетонной смеси кольцо 1 устанавливают на лабораторную виброплощадку с частотой 2800-3000 кол/мин и амплитудой 0,5 мм и

закрепляют его. В кольцо вставляют конус 3 и закрепляют его нажимным кольцом 2 с ручками, заходящими в специальные пазы, и устанавливают воронку 4. Конус заполняют бетонной смесью в той же последовательности, как и при определении подвижности, т. е. тремя равными по высоте слоями со штыкованием каждого слоя по 25 раз металлическим стержнем. После снятия конуса поворачивают вокруг вертикальной оси штатив 9 и на отформованную бетонную смесь опускают диск 8 вместе со штангой 5, масса которых должна составлять  $2750 \pm 50$  г. Штатив в требуемом положении закрепляют зажимным винтом, в фиксирующей втулке 10. Затем одновременно включают виброплощадку и секундомер и наблюдают за тем, как выравнивается и уплотняется бетонная смесь. Вибрирование продолжают до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из любых двух отверстий диска. В этот момент выключают секундомер и виброплощадку. Полученное время в секундах характеризует жесткость бетонной смеси.

Жесткость бетонной смеси вычисляют с погрешностью до 1 с как среднее арифметическое результатов двух определений жесткости из одной пробы смеси, отличающихся между собой не более чем на 20 %. Общее время испытания с начала заполнения конуса бетонной смесью в установленном приборе при новом определении и до окончания определения жесткости при второе определении не должно превышать 15 мин.

Результаты определения жесткости бетонной смеси заносят в таблицу 9.5 журнала для лабораторных и практических работ.

Таблица 9.5.

Результаты определения жесткости бетонной смеси

Марка и вид бетона, изготавливаемого из смеси	Результаты частных испытаний, см	Среднеарифметический результат, см

Жесткость бетонной смеси согласно ГОСТ 10181.1–81 разрешается определять с помощью технического вискозиметра. Технический вискозиметр (рис. 9.4) представляет собой цилиндрический сосуд 1 высотой 200 и диаметром 300 мм. Внутри сосуда помещается цилиндрическое кольцо 2. К верхнему краю кольца прикреплены три планки, с помощью которых кольцо закрепляют на бортах сосуда в подвешенном состоянии на расстоянии 70 мм от дна сосуда. В комплекте технического вискозиметра имеется усеченный металлический конус с насадкой и съемный штатив со штангой, на нижнем конце которого закреплен диск.

Жесткость бетонной смеси с наибольшей крупностью заполнителя 40 мм определяют следующим образом. Цилиндрический сосуд 1 вискозиметра устанавливают на лабораторной виброплощадке, затем в сосуд вставляют кольцо 2 и закрепляют его зажимами. В кольцо помещают стандартный конус с бетонной смесью тремя равными по высоте слоями с предварительным уплотнением штыкованием каждого слоя. Окончательно уплотняют смесь в конусе вибрированием до тех пор, пока на поверхности смеси и из под нижнего основания конуса не будет выделяться цементное тесто. Время вибрирования – не менее 5 и не более 50 с.

По окончании вибрирования насадку снимают, избыток бетонной смеси срезают кельмой вровень с краями конуса, затем поднимают конус строго вертикально без перекосов. После этого устанавливают на прибор штатив с диском 4 и штангой 6 (масса диска и штанги должна быть в пределах 800–1000 г), затем полностью освобождают зажимной винт 5 штанги и опускают диск на поверхность отформованного конуса 3 бетонной смеси. Одновременно включают виброплощадку и секундомер и наблюдают за опусканием штанги. Когда риска штанги совпадет с верхней плоскостью направляющей головки штатива, выключают секундомер и виброплощадку и отмечают время, прошедшее от момента включения виброплощадки до ее выключения. Полученное время в секундах, умноженное на коэффициент 0,45, характеризует жесткость бетонной смеси. Испытание проводят дважды, причем каждый раз с новой порцией бетонной смеси. Показатель жесткости вычисляют как среднее арифметическое двух определений.

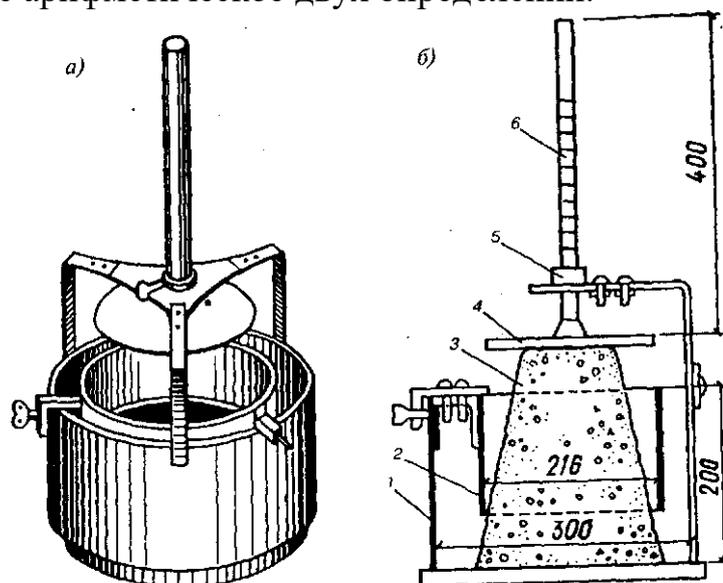


Рис. 9.4. Технический вискозиметр для определения жесткости бетонной смеси

а - общий вид; б - разрез

Жесткость бетонной смеси с максимальной крупностью заполнителя 70 мм определяют упрощенным методом (рис. 9.5). Металлическую форму для изготовления бетонного образца-куба размером 200х200х200 мм устанавливают на лабораторную виброплощадку и закрепляют на ней. В форму вставляют стандартный конус без нижних планок и заполняют его бетонной смесью как указано выше. Затем конус осторожно снимают и включают одновременно виброплощадку и секундомер. Когда бетонная смесь заполнит все углы формы, а поверхность ее станет горизонтальной (рис. 9.5, в), виброплощадку и секундомер выключают. Время в секундах, необходимое для выравнивания поверхности бетонной смеси в форме, умноженное на 1,5, характеризует жесткость бетонной смеси, определенную техническим вискозиметром.

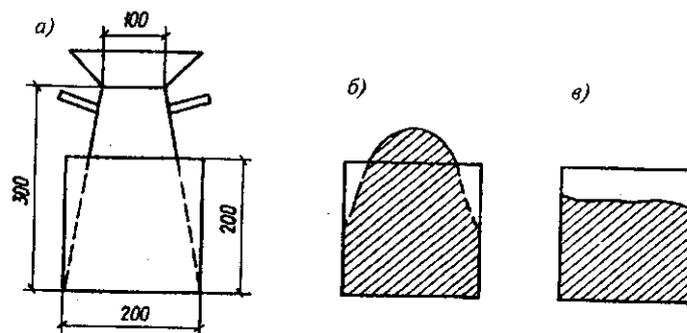


Рис. 9.5. Упрощенный метод определения жесткости бетонной смеси  
 а – общий вид прибора с конусом и насадкой; б – бетонная смесь после снятия конуса; в – то же, после вибрирования

Виды бетонных смесей по показателям подвижности или жесткости приведены в табл. 9.6.

Среднюю плотность бетонной смеси определяют в металлическом мерном цилиндре объемом 5 или 15 л (в зависимости от наибольшей крупности заполнителя соответственно 40 и 70 мм). При уплотнении ручным способом – штыкованием – мерный цилиндр наполняют бетонной смесью приблизительно равными порциями в три слоя. Каждый слой штыкуют равномерно по всей площади стальным стержнем, причем число штыкований на один слой для сосудов объемом 5 и 15 л соответственно равно 16 и 35. Нижний слой бетонной смеси штыкуют на всю толщину слоя, при штыковании следующих слоев стержень должен проникать в лежащий ниже слой на глубину не более 2–3 см. При уплотнении механическим способом – вибрированием – мерный цилиндр наполняют бетонной смесью, устанавливают и укрепляют на лабораторной виброплощадке, после чего вибрируют до момента появления на поверхности бетонной смеси цементного теста. Во время вибрирования в цилиндр небольшими порциями добавляют бетонную смесь. По окончании уплотнения виброплощадку выключают, избыток бетонной смеси срезают стальной линейкой и поверхность тщательно выравнивают вровень с краями мерного цилиндра.

Таблица 9.6.

Классификация бетонных смесей  
 по показателям подвижности и жесткости

Бетонная смесь	Подвижность ОК, см	Жесткость Ж, с	
		по прибору по ГОСТ 10181.1-81	по техническому вискозиметру
Особо жесткая	–	31	200
Повышенно жесткая	–	30–21	200–150
Жесткая	–	20–11	150–75
Умеренно жесткая	–	10–5	75–50
Малоподвижная	–	4	50–15

Цилиндр с бетонной смесью взвешивают с точностью до 1 г и вычисляют среднюю плотность по формуле:

$$\rho_{б.см} = (m - m_1) / V,$$

где  $\rho_{б.см}$  – средняя плотность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  – масса мерного цилиндра с бетонной смесью, кг;

$V$  – масса пустого цилиндра, кг;  $V$  – объем цилиндра, м<sup>3</sup>.

Среднюю плотность каждой пробы бетонной смеси определяют дважды, за результат принимают среднее арифметическое двух определений.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ И КЛАССА БЕТОНА

Цель работы – освоение методики определения прочности бетона.

Оборудование: весы по ГОСТ 24104-88, секундомер, формы для изготовления контрольных образцов бетона по ГОСТ 22685, противень, штыковка, прямой металлический гладкий стержень диаметром 16 мм, длиной 600 мм с округленными концами, виброплощадка лабораторная, пропарочная камера, кельма типа КБ, линейка металлическая.

#### Теоретические сведения

Определение прочности бетона выполняют путем испытания до разрушения специально изготовленных контрольных образцов. В условиях лаборатории рекомендуется определять предел прочности при сжатии бетона по результатам испытания образцов-кубов размером 100x100x100 и 150x150x150 мм, а также знакомить с методикой определения предела прочности при изгибе образцов-призм размером 150x150x600 мм и с методикой определения прочности бетона на осевое растяжение по результатам испытания образцов-восьмерок, изготовленных в специальных формах. Кроме того, следует ознакомить студентов с определением прочности бетона в конструкциях без их разрушения механическими и физическими методами.

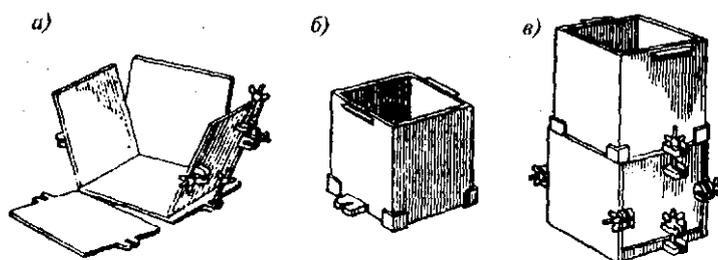


Рис. 9.6. Форма для изготовления бетонных образцов-кубов  
а – форма; б – насадка; в – собранная форма с насадкой

**Предел прочности при сжатии бетона по результатам испытания образцов-кубов.** Для изготовления образцов-кубов отбирают среднюю пробу бетонной смеси. Методика отбора проб зависит от вида конструкции, метода укладки и твердения бетонной смеси и других факторов. Массу средней пробы устанавливают в зависимости от числа подлежащих изготовлению и испытанию образцов.

Для определения предела прочности бетона при сжатии изготавливают образцы-кубы, размеры которых зависят от наибольшей крупности зерен заполнителя:

длина грани

образца-куба, мм	70	100	150	200	300
наибольшая крупность зерен, мм	10 и менее	20	40	70	100 и более

Образцы изготовляют в разборных чугунных или стальных формах (рис. 9.6) со строганной или шлифованной внутренней поверхностью. Формы должны быть достаточно жесткими, не деформирующимися во время формования образцов, с соединениями элементов, исключающими потерю цементного молока при формовании. Размер собранных форм необходимо строго выдерживать, не допуская отклонений подлине ребер внутри куба более 1 %. Углы между гранями прямоугольных форм должны быть прямыми.

Перед укладкой бетонной смеси формы очищают от остатков бетона, внутреннюю поверхность смазывают отработанным минеральным маслом или смазкой, например ОЭ-2, препятствующей сцеплению затвердевшего бетона с поверхностью форм. Укладка бетонной смеси в формы и ее уплотнение должны быть закончены не позднее чем через 20 мин после отбора пробы бетонной смеси. Методы укладки и уплотнения бетонной смеси в формах зависят от ее подвижности. Особо подвижную бетонную смесь с осадкой конуса более 12 см укладывают в форму высотой до 150 мм включительно в один слой, а в формы высотой 200 мм и более – в два слоя равной толщины и каждый слой уплотняют штыкованием металлическим стержнем диаметром 16 мм по спирали от краев к центру образцов. При штыковании нижнего слоя стержень должен достигать дна формы, при штыковании второго слоя стержень должен проникать на глубину 2–3 см в лежащий ниже слой. Число штыкований каждого слоя бетонной смеси принимают из расчета 10 погружений стержня на каждые 100 см<sup>2</sup> поверхности. По окончании штыкования верхнего слоя избыток бетона срезают металлической линейкой вровень с краями формы, а поверхность образца заглаживают.

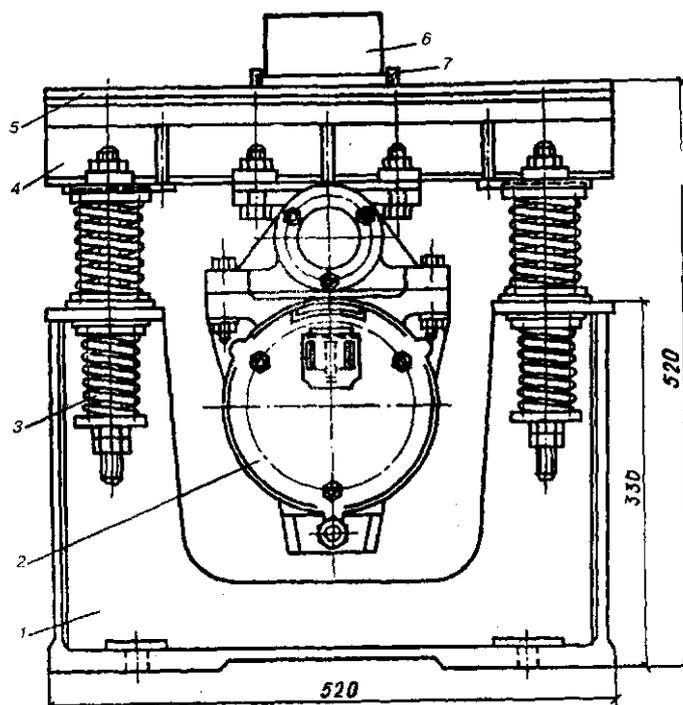


Рис. 9.7. Лабораторная виброплощадка с формой  
1 – станина; 2 – электродвигатель с неуравновешенным грузом; 3 – пружина; 4 – рама; 5 – площадка; 6 – форма; 7 – зажим

Для пластичных ( $OK < 12$  см) и жестких бетонных смесей, уплотняемых при формировании изделий вибрированием, образцы изготавливают также с применением вибрирования. Бетонную смесь укладывают в форму с некоторым избытком, после чего форму устанавливают на стандартную лабораторную виброплощадку и закрепляют зажимами (рис. 9.7). Затем включают виброплощадку и секундомером фиксируют время вибрирования. Вибрирование должно продолжаться до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности и появлением на ней цементного раствора. Обычно это время соответствует показателю жесткости, увеличенному на 30 с.

При изготовлении образцов из бетонной смеси жесткостью более 20 с перед укладкой смеси на форме закрепляют насадку высотой, равной высоте формы. Форму с насадкой жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и заполняют бетонной смесью (примерно до половины высоты насадки), устанавливают сверху на поверхность смеси пригруз, обеспечивающий давление, равное принятому при производстве изделий, но не менее 0,001 МПа, и вибрируют в течение 30–60 с до прекращения оседания пригруза. После этого снимают пригруз и насадку, срезают избыток смеси и заглаживают поверхность образца.

После уплотнения образцы в формах, покрытых влажной тканью, хранят в помещении при 16–20 °С в течение 1 суток, затем вынимают из форм, маркируют и до момента испытания помещают в камеру нормального твердения при температуре  $20 \pm 2$  °С с относительной влажностью не менее 95%. Образцы в камере укладывают на стеллажи в один ряд по высоте с промежутками между ними. Увлажнять их непосредственным орошением водой не следует. В случае, если железобетонные изделия изготавливают с применением тепловой обработки, все образцы в формах подвергают одновременному обогреву в тех же условиях, что и изделия, после чего освобождают из форм и хранят в нормальных условиях до момента испытания.

Предел прочности при сжатии образцов-кубов определяют следующим образом. Образцы извлекают из камеры влажного хранения и осматривают. Обнаруженные на опорных гранях дефекты в виде наплывов удаляют напильником или шлифовальным кругом, а мелкие раковины заполняют густым цементным тестом. Затем определяют рабочее положение образца при испытании и отмечают краской или мелом грани, которые будут прилегать к опорам. Опорные грани выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании образца была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в форму. Образцы-кубы измеряют металлической линейкой с точностью до 1 мм, а затем взвешивают на технических весах. Рабочую площадь сечения образца, мм<sup>2</sup>, определяют как среднее арифметическое площадей обеих опорных граней. Образцы перед испытанием должны в течение 2–4 ч (с момента извлечения из камеры) находиться в помещении лаборатории.

Во время испытания образец устанавливают одной из граней на нижнюю опорную плиту пресса центрально по оси последнего. Затем включают электродвигатель гидравлического привода пресса. Нагрузка на образец при испытании должна возрастать непрерывно со скоростью 0,4 – 0,8 МПа/с до разрушения образца.

Предел прочности при сжатии бетона  $R_g$ , МПа, определяют как отношение разрушающей силы  $p$  (Н) к площади поперечного сечения образца  $S$ , мм<sup>2</sup>:

$$R_g = p / S$$

Предел прочности при сжатии бетона вычисляют как среднее арифметическое результатов испытания трех образцов при условии, что наименьший результат испытания одного из трех образцов отличается от следующего показателя не более чем на 15 %. Если наименьший результат отличается больше чем на 15 % следующего большего показателя, то предел прочности вычисляют как среднее арифметическое из двух наибольших результатов. Марку (класс) бетона определяют как предел прочности при сжатии бетонного образца-куба с длиной ребра 150 мм. При длине ребра куба 70, 100, 200, 300 мм предел прочности пересчитывают, пользуясь соответственно коэффициентами: 0,85, 0,95, 1,05 и 1,1.

По пределу прочности при сжатии образцов-кубов размером 150x150x150 мм для тяжелых бетонов установлены следующие марки (классы): М 100 (В 7,5), М 150 (В 10), М200 (В 15), М250 (В 20), М 300 (В 25), М 350 (В 27,5), М 400 (В 30), М 450 (В 35), М 500 (В 40), М 600 (В 45), М 700 (В 55), М 800 (В 60).

Для определения прочности бетона в любой срок, а также для решения вопроса о возможности распалубки монолитных железобетонных конструкций можно пользоваться приближенной эмпирической формулой:

$$R_n = R_{28} \frac{\lg n}{\lg 28}$$

где  $R_n$  – прочность бетона в возрасте  $n$  сут, МПа;

$R_{28}$  – то же, в возрасте 28 сут, МПа.

Данная формула применима для ориентировочного расчета прочности бетона на портландцементе средних марок в возрасте более 3 суток. Фактическую прочность бетона в конструкциях определяют путем испытания контрольных образцов, изготовленных из той же бетонной смеси и твердеющих в условиях, аналогичных тем условиям, в которых находились конструкции.

#### Обработка результатов

Результаты опытов заносят в таблицу 9.7.

Таблица 9.7

Результаты определения предела прочности бетона на сжатие

Дата изготовления образцов	Маркировка серии образцов	Проектный класс (марка),	Удобукладываемость бетонной смеси ОК, см	Дата испытания	Масса образца, г	Размеры образца, см	Средняя плотность образца в момент испытания, кг/м <sup>3</sup>	Тип испытательной машины, шкала	Показания силоизмерителя испытательной машины	Разрушающая нагрузка, кН	Прочность бетона, приведенная к базовому	Средняя прочность серии образцов, МПа


## 9. Оценка качества кирпича по внешнему осмотру и обмеру. Определение марки кирпича

Цель и задачи работы: изучить методику и оценить качество кирпича по внешнему осмотру и обмерам; определить марку кирпича.

### Общие положения (теоретические сведения)

Керамическими называют искусственные каменные материалы, получаемые из глиняных масс путем формования, сушки и последующего обжига. После обжига керамические материалы приобретают значительную прочность, водостойкость, морозостойкость и ряд других ценных свойств. Среди керамических материалов наибольшее распространение имеют керамический обыкновенный и пустотелый кирпич (рис. 6.1), пустотелые керамические камни (рис. 6.2), облицовочные плитки, керамическая черепица и керамзит.

Для оценки качества керамических материалов в лаборатории проверяют следующие основные их свойства: внешний вид, форму и размеры, степень обжига, предел прочности при сжатии и изгибе, водопоглощение, морозостойкость.

В учебной лаборатории обычно студентов знакомят с испытанием полнотелого керамического кирпича, так как его чаще других керамических материалов приходится испытывать лабораториям строительных организаций.

Керамический кирпич в основном применяют для кладки стен зданий, поэтому к нему как к стеновому материалу предъявляют

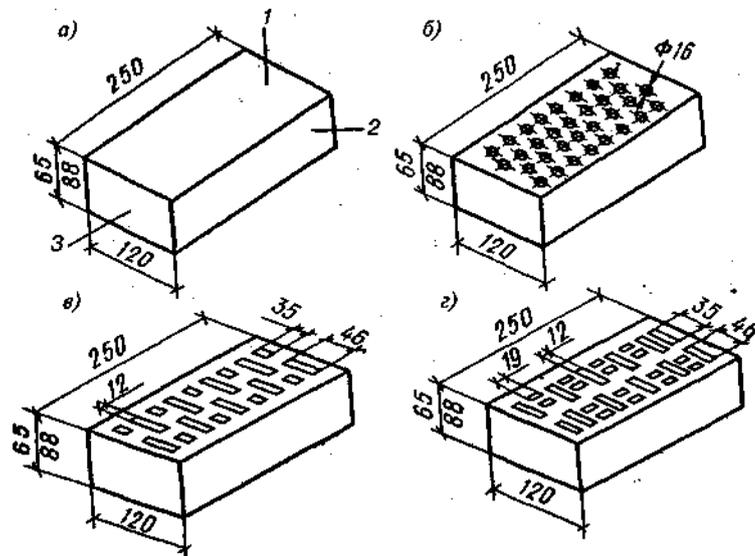


Рис. 6.1. Керамический кирпич –  
полнотелый (а), с 32 (б), 18 (в) и 28 (г) пустотами  
1 – постель; 2 – ложок; 3 – тычок

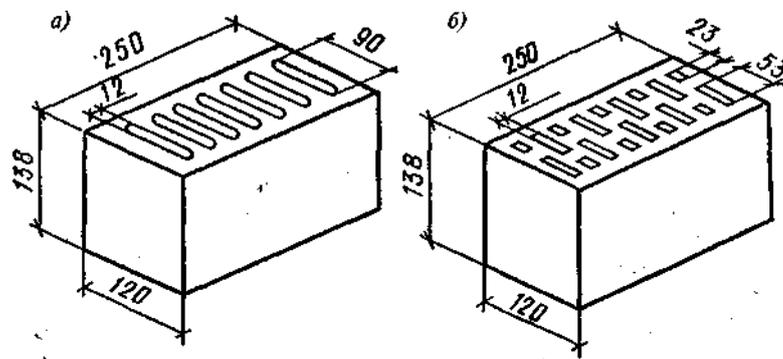


Рис. 6.2. Пустотелые керамические камни с 7 (а) и 18 (б) пустотами

требования по прочности и теплопроводности. Желательно, чтобы он обладал наибольшей прочностью при возможно меньшей теплопроводности, что позволит уменьшить толщину и массу стены и снизить стоимость конструкции. Теплопроводность кирпича в значительной мере зависит от его водопоглощения. Чем выше водопоглощение; тем больше пористость и, соответственно, меньше теплопроводность.

#### Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия

Кирпич глиняный полнотелый, эталон кирпича; металлическая линейка; угольник, гидравлический пресс.

#### Задание на работу (рабочее задание)

Для оценки качества керамического кирпича согласно ГОСТ 530-95 отбирают среднюю пробу от каждой партии кирпича (за партию принимают 100 тыс. шт) и не менее 30 шт. направляют на испытание в лабораторию. При поступлении на строительство кирпича в количестве менее 100 тыс. шт. пробу отбирают как от целой партии.

Для выполнения лабораторных работ по этой теме подгруппу студентов разделяют на бригады по два-три человека так, чтобы общее число испытаний кирпичей равнялось пяти. Каждая бригада выполняет испытание одного образца-кирпича. Результаты испытаний, полученные каждой бригадой, заносят затем в общую таблицу журнала для лабораторных и практических работ, на основании которых делают выводы о качестве кирпича.

#### Ход работы (порядок выполнения работы)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА КИРПИЧА ПО ВНЕШНЕМУ ОСМОТРУ И ОБМЕРУ

Внешним осмотром устанавливают наличие недожога в контролируемом кирпиче, для чего сравнивают отобранные образцы с эталоном (нормально обожженным кирпичом). Более светлый вид кирпича, чем у эталонного («алый» кирпич), и глухой звук при ударе по кирпичу молотком указывают на наличие недожога. Пережженный кирпич характеризуется оплавлением и вспучиванием, имеет бурый цвет и, как правило, искривлен. Недожженный и пережженный кирпич является браком.

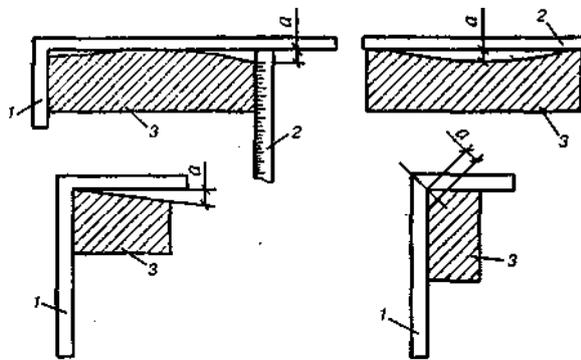


Рис. 6.3. Измерение искривления поверхности и ребер кирпича

1 – стальной угольник; 2 – стальная линейка; 3 – кирпич

После внешнего осмотра кирпич измеряют по длине, ширине и толщине, а также определяют искривление поверхностей ребер и длину трещин.

Линейные размеры кирпича и размеры трещин проверяют металлической линейкой с точностью до 1 мм. Кирпич одинарный должен иметь следующие размеры, мм: длину 250, ширину 120, толщину 65; кирпич модульный – длину 250, ширину 120 и толщину 88. Допускаемые отклонения от этих размеров для кирпича не должны превышать по длине  $\pm 5$ , по ширине  $\pm 4$ , по толщине  $\pm 3$  мм.

Кирпич должен иметь форму прямоугольного параллелепипеда с прямыми ребрами и углами, четкими гранями и ровными лицевыми поверхностями. Искривление поверхностей и ребер, отбитость или притупленность ребер и углов устанавливают при помощи металлического угольника и линейки с точностью до 1 мм. В лаборатории кирпич укладывают на ровный стол. К проверяемой поверхности прикладывают ребром металлическую линейку или треугольник в таком направлении, чтобы выявить максимальное значение прогиба поверхности (рис. 6.3). Максимальное значение зазора между ребром линейки и проверяемой поверхностью изделия измеряют специально изготовляемыми для этой цели калибрами. Результат измерений записывают в журнал для лабораторных и практических работ и сравнивают с данными ГОСТ 530-95.

По форме и внешнему виду кирпича стандартом допускаются следующие отклонения:

искривление граней и ребер кирпича – по постели не более 3 мм и по ложку не более 4 мм;

сквозные трещины на ложковых гранях (т.е. на сторонах размером 250x65 и 250x88 мм) на всю толщину кирпича протяженностью по ширине кирпича до 30 мм включительно – не более одной (кирпич, имеющий сквозную трещину протяженностью более 30 мм, относится к половняку);

отбитости или притупленности ребер и углов размером по длине ребра не более 15 мм – не более двух.

Известковые включения (дутики), вызывающие разрушение кирпича, не допускаются.

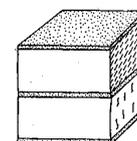
## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ КИРПИЧА

Марку кирпича определяют по пределу прочности при сжатии и изгибе подготовленных и испытанных на гидравлическом прессе образцов.

*Предел прочности при сжатии* определяют следующим образом. Отобранные для испытания кирпичи (5 шт. от средней пробы) распиливают дисковой пилой на распиловочном станке по ширине на две равные части. Обе половинки постелями накладывают одна на другую так, чтобы поверхности распила были направлены в противоположные стороны, и склеивают цементным тестом из портландцемента марки не выше 400, при этом толщина слоя цементного теста между половинками не должна превышать 5 мм. Кроме того, цементным тестом слоем 3 мм выравнивают (подливают) обе внешние поверхности, параллельные соединительному шву.

Для склейки и подливки двух половинок кирпича на гладкой, горизонтально установленной плоскости (выверенной по уровню металлической плиты) кладут стекло, покрытое смоченной бумагой, и по бумаге расстилают цементное тесто слоем 3 мм. Затем одну половинку кирпича укладывают на цементное тесто и слегка прижимают, после чего верхнюю поверхность половинки кирпича покрывают тем же цементным тестом и на него укладывают вторую половинку кирпича, слегка прижимая. Верхнюю поверхность второй половинки также покрывают цементным тестом и прижимают стеклом со смоченной бумагой. Излишки цементного теста срезают, края слоев выравнивают ножом.

близок по форме к кубу 4.4. Необходимо, чтобы плоскости образца были взаимно параллельны и перпендикулярны боковым граням, что проверяют угольником. Образцы до испытания следует выдерживать в лаборатории во влажных условиях в течение 3 – 4 сут для затвердевания цементного теста, после чего их испытывают на сжатие.



*Рис. 6.4.* Куб из кирпича для испытания на

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

При определении предела прочности при сжатии образец устанавливают на нижнюю опору гидравлического пресса так, чтобы геометрический его центр совпадал с центром опоры. Затем верхнюю опору опускают на образец и насосом пресса равномерно передают давление на образец, доводя его до разрушения. Значение разрушающего усилия фиксируют по показанию контрольной стрелки силоизмерителя.

Предел прочности при сжатии  $R_{сж}$ , МПа:

$$R_{сж} = p / S,$$

где  $p$  – разрушающая нагрузка, Н;

$S$  – площадь, мм<sup>2</sup>.

Среднее значение предела прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое из результатов испытания пяти образцов. Кроме того, записывают минимальный результат испытаний.

*Предел прочности при изгибе* определяют путем испытания на гидравлическом прессе целого кирпича, уложенного плашмя на две опоры, расположенные на расстоянии 200 мм одна от

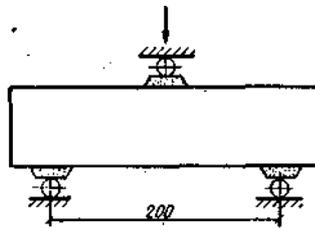


Рис. 6.5. Схема испытания кирпича на изгиб

другой (рис. 6.5). Опоры должны иметь закругления радиусом 10–15 мм. Нагрузку передают на середину кирпича через опору с таким же закруглением.

Для более плотного и правильного прилегания образца к опорам на кирпиче по уровню накладывают из цементного теста три полоски шириной 20 – 30 мм: две полоски – в местах опирания на нижние опоры, одну – под опору, передающую нагрузку. Если в кирпиче имеются трещины, то полоски располагают так, чтобы самые значительные трещины при испытании оказались на нижней поверхности образца.

Подготовленные образцы выдерживают в лаборатории в течение 3–4 сут для затвердевания цементного теста. Перед испытанием измеряют размеры поперечного сечения кирпича по середине пролета (между опорами) с точностью до 1 мм. Испытания кирпича проводят на 5-тонном гидравлическом прессе.

Предел прочности при изгибе  $R_m$ , МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{из} = 3 \cdot p \cdot l / 2 \cdot b \cdot h^2,$$

где  $p$  – разрушающая нагрузка, Н;

$l$  – расстояние между опорами, мм (см);

$b$  – ширина кирпича, мм;

$h$  – высота (толщина) кирпича по середине пролета, мм.

За окончательный результат принимают среднее значение из пяти определений. Кроме того, записывают минимальный результат испытаний.

#### Содержание отчета

Полученные пятью бригадами студентов результаты испытаний кирпича заносят в таблицу журнала лабораторных и практических работ, после чего, сравнивая полученные результаты с данными, приведенными в табл. 6.1 (по среднему и минимальному значению прочности отдельных образцов), определяют марку кирпича.

Результаты опытов заносят в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Результаты определения предела прочности кирпича на сжатие

Маркировка серии образцов	Масса образца, г	Размеры образца, см	Тип испытательной машины, шкала	Показания силоизмерителя испытательной машины	Разрушающая нагрузка $P$ , кН	Предел прочности образца при	Среднее значение предела прочности при


Результаты опытов заносят в таблицу 6.2.

Таблица 6.2

Результаты определения предела прочности кирпича при изгибе

Маркировка серии образцов	Масса образца, г	Размеры образца, см		Тип испытательной машины, шкала	Показания силоизмерителя испытательной машины	Разрушающая нагрузка $P$ , кН	Предел прочности образца при изгибе $R_{сж.}$ , МПа	Среднее значение предела прочности при изгибе серии образцов, МПа
		$b$	$h$					

Таблица 6.3

Марки керамического кирпича

Способ формования	Марка	Предел прочности, МПа, не менее			
		при сжатии		при изгибе	
		средний для пяти образцов	наименьший для отдельного образца	средний для пяти образцов	наименьший для одного образца
Пластическое	300	30	23	4,4	2,2
	250	25	20	3,9	2
	200	20	17,5	3,4	1,7
	175	17,5	15	3,1	1,5
	150	15	12,5	2,8	1,4
	125	12,5	10	2,5	1,2
	100	10	7,5	2,2	1,1
	75	7,5	5	1,8	0,9

## 10. Исследование лакокрасочных материалов и их составляющих (определение укрывистости, определение твердости пленки, определение прочности пленки на изгиб, определение вязкости красочного состава)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УКРЫВИСТОСТИ

Цель работы – освоение методики определения укрывистости лакокрасочных материалов.

Оборудование: весы по ГОСТ 24104-88, стеклянная пластинка размером 100x300 мм толщиной 2,5 мм.

#### Теоретические сведения

Укрывистостью или кроющей способностью называют способность красочного состава закрывать цвет окрашиваемой поверхности непросвечивающим слоем. Укрывистость измеряется расходом пигмента в граммах на 1 м<sup>2</sup> окрашиваемой поверхности.

Укрывистость определяют следующим образом. На стеклянную пластинку размером 100x300 мм и толщиной 2–2,5 мм наносят на равном расстоянии друг от друга по всей длине пластинки три цветные полосы: по краям черные и посередине белую; ширина каждой полосы 15 мм.

Полосы наносят масляными красками: черную – газовой сажей, белую – цинковыми белилами (рис. 12.1). После высыхания краски пластинку взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Затем приготавливают краску на испытываемом пигменте, для чего отвешивают 5 г пигмента, добавляют к нему натуральной олифы и растиранием доводят до малярной консистенции.

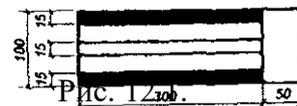


Рис. 12.1  
Пластинка для определения укрывистости

Приготовленную краску на испытываемом пигменте тонким слоем с помощью щетинной филичатой кисти наносят на одну сторону стеклянной пластинки, обратную той, на которую нанесены цветные полосы. Окрашивают площадь размером 100x250 мм, оставляя полосу 50x100 мм, чтобы во время окрашивания было удобно держать пластинку на руках. Краску наносят сначала вдоль, а затем поперек пластинки до тех пор, пока у пластинки, положенной на лист белой бумаги, перестанут быть заметными в отраженном свете цветные полосы. Перед проверкой нанесенную краску разравнивают флейцем. Пластинку с нанесенной краской взвешивают и, вычтя массу пластинки с тремя нанесенными полосами, определяют количество нанесенной краски.

Расчет укрывистости  $Y$ , г/м<sup>2</sup>, производят по формулам:  
считая на краску малярной консистенции

$$Y = a \cdot 10000 / S;$$

считая на сухой пигмент

$$Y = a(100 - b) \cdot 100 / S,$$

где  $a$  – количество нанесенной краски малярной консистенции, г;

$b$  – содержание олифы в краске малярной консистенции, %;

$S$  – окрашенная площадь пластинки, см<sup>2</sup>.

Определение укрывистости производят дважды. Расхождение в результатах испытаний допускается не более 5% для красок с укрывистостью до 100 г/м<sup>2</sup> и не

более 7% для красок с укрывистостью до 300 г/м<sup>2</sup>, считая максимальную укрывистость за 100%.

#### Обработка результатов

Результаты опытов заносят в таблицу 12.2.

Таблица 12.2

Результаты определения укрывистости лакокрасочных материалов

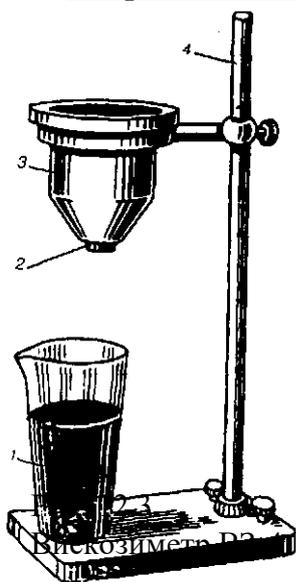
№ опыта	Количество нанесенной краски малярной консистенции <i>a</i> , г	Содержание олифы в краске малярной консистенции <i>b</i> , г	Окрашенная площадь пластинки <i>S</i> , см <sup>2</sup>	Укрывистость	
				отдельное значение	среднее значение

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ КРАСОЧНЫХ СОСТАВОВ

Цель работы – освоение методики определения вязкости красочных составов.

Оборудование: вискозиметр ВЗ-4, сито №028, секундомер.

#### Теоретические сведения



Вязкость красочного состава характеризует удобоносимость его на окрашиваемую поверхность. При малой вязкости происходит стекание красочного состава с вертикальной или наклонной поверхности, а большая препятствует нанесению на окрашиваемую поверхность тонкого слоя.

Вязкость красочных составов определяют с помощью вискозиметра ВЗ-4 (рис. 12.3), который представляет собой цилиндрический резервуар 3, переходящий в полый конус с соплом 2. Объем вискозиметра – 100 мл, высота сопла – 4 мм, диаметр отверстия сопла – 4 мм. Вискозиметр закрепляют в штативе.

Условной вязкостью красочных составов называют время, с, истечения 100 мл через калиброванное сопло вискозиметра при определенной температуре (обычно 20 °С). Испытываемый материал необходимо профильтровать через сетку № 028, тщательно перемешать и оставить в покое на 5–10 мин, чтобы вышли пузырьки воздуха. Резервуар вискозиметра необходимо промыть растворителем, обратив особое внимание на чистоту отверстия сопла, и, если нужно, еще раз промыть растворителем; закрепить вискозиметр в штативе 4 и с помощью винтов установить его в требуемом положении.

При проведении испытания под вискозиметр подставляют сосуд 1 объемом не менее 110 мл для стока испытываемого материала. Затем зажимают снизу пальцем отверстие сопла и заполняют резервуар вискозиметра красочным составом, имеющим температуру 20 °С, быстро отнимают палец от отверстия и одновременно пускают секундомер. Секундомер останавливают при появлении прерывистой струи. Время истечения 100 мл испытываемого материала из вискозиметра ВЗ-4 и

будет его условной вязкостью. Опыт повторяют три раза. Значение вязкости вычисляют как среднее арифметическое трех определений.

Оформление отчета

Результаты опытов заносят в таблицу 12.5.

Таблица 12.5

Результаты определения вязкости красочных составов

№ опыта	Условная вязкость (время истечения 100 мл красочного состава),с	
	отдельное значение	среднее значение

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПЛЕНКИ НА ИЗГИБ**

Цель работы – освоение методики определения прочности пленки лакокрасочного состава на изгиб.

Оборудование: прибор ШГ.

Теоретические сведения

Прочность пленки на изгиб характеризует ее эластичность и способность изгибаться без разрушения. Это свойство пленки красочного состава определяют с помощью шкалы гибкости. Прибор ШГ (рис. 12.4) представляет собой станину, на которой закреплены шесть больших стержней длиной 35 мм. Диаметр стержней 1 – 20, 15 и 10 мм, сечение плоских закругленных стержней 2 – 5x10, 3x10 и 1x10 мм. Станину крепят к краю стола.

Данное определение выполняют следующим образом. На очищенные от окалины и ржавчины пластинки из жести толщиной 0,2–0,3 мм и размером лакокрасочных покрытий 20x100 мм наносят испытываемый материал методом, предусмотренным в стандартах. После высыхания пленки пластинку плотно прижимают к стержню, плавно изгибают в течение 2–3 с пленкой вверх на 180° вокруг стержня диаметром 20 мм. Если после изгибания на пленке при рассматривании в лупу не заметны трещины и пленка не отслаивается, то производят изгибание пластинки в другом месте вокруг стержня диаметром 15 мм, затем в новом месте вокруг стержня диаметром 10 мм и так далее до тех пор, пока на пленке не будут обнаружены указанные выше изменения.



Рис. 12.4  
Шкала гибкости лакокрасочных покрытий (ШГ)

Прочность пленки при изгибе выражается минимальным диаметром стержня, на котором лакокрасочное покрытие осталось неповрежденным. Например, «гибкость» 10 означает, что красочная пленка не разрушилась при изгибании на стержнях диаметром 15 и 10 мм, но при изгибании на стержне диаметром 5 мм пленка уже разрушается (образуются трещины).

## **11. Битумные вяжущие вещества (определение дуктильности, пенетрации и температуры размягчения битума)**

Битумные вяжущие (битумы) представляют собой сложные смеси высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных. Битумы бывают природными и искусственными (нефтяными); последние широко применяют в строительстве и в производстве различных гидроизоляционных материалов. Нефтяные битумы – продукты переработки нефти и ее смолистых остатков. В зависимости от способа получения различают остаточные, окисленные и крекинговые нефтяные битумы.

Нефтяные битумы по внешнему виду представляют собой твердую или вязкую массу черного цвета со слабым запахом минерального масла. Ценными свойствами этих битумов являются водонепроницаемость, химическая стойкость, способность размягчаться при нагревании и сцепляться с деревом, камнем и металлом, а также быстрота нарастания вязкости при остывании. Нефтяные битумы применяют для приготовления асфальтовых бетонов и растворов, кровельных, гидроизоляционных и дорожных мастик, паст, эмульсий и т.д., а также в производстве кровельных и гидроизоляционных материалов.

Для оценки качества поступившего на строительство нефтяного битума, упакованного в таре, вскрывают 2 % числа ящиков, бочек или мешков и отбирают от каждого упаковочного места один кусок массой около 1 кг. Затем каждый кусок разбивают на части размером не более 25 мм, тщательно перемешивают, разравнивают, последовательным квартованием доводят массу средней пробы до 2–3 кг и направляют в строительную лабораторию для испытания. В лаборатории пробу делят на две равные части: одну используют для проведения испытаний; вторую - в опечатанном виде хранят в течение 2 месяцев на случай повторного испытания.

Перед определением показателей физико-механических свойств битума его необходимо обезводить, для чего пробу в чашке помещают в сушильный шкаф или на песчаную баню и доводят до подвижного состояния, нагревая твердые и полутвердые битумы до температуры не выше 120 - 180°C в зависимости от их вязкости. Затем расплавленный битум процеживают через сито с отверстиями 0,6 – 0,8 мм и тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха. После остывания проба битума считается подготовленной к проведению испытаний.

При оценке качества нефтяных битумов в лаборатории определяют вязкость, растяжимость, температуру размягчения и вспышки.

Для выполнения лабораторной работы по теме «Битумные вяжущие» подгруппу студентов разделяют на бригады по три-четыре человека, при этом каждая бригада испытывает по одному разу битум одной из марок, определяя три основных свойства: вязкость, растяжимость и температуру размягчения. Результаты, полученные при испытании битума, студенты заносят в журнал для лабораторных и практических работ. На основании результатов испытаний и сравнения их с требованиями ГОСТа (см. таблицу 10.1, с. 190), студенты должны сделать заключение, к какой марке следует отнести битум, испытанный каждой бригадой.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ БИТУМА**

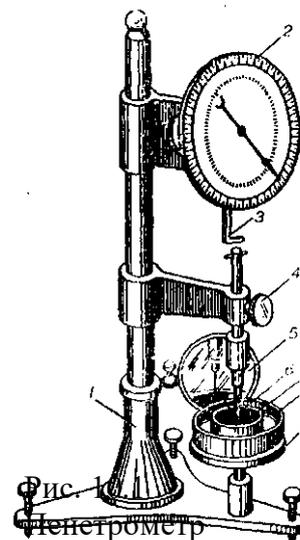
Цель и задачи работы – освоение методики определения вязкости битума.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: пенетромметр, секундомер, шкаф сушильный.

Общие положения (теоретические сведения)

Вязкость (пенетрацию) нефтяного битума определяют при помощи стандартного прибора - пенетрометра. По глубине проникания в битум иглы прибора под нагрузкой 1 Н в течение 5 с при температуре 25 °С судят о вязкости битума. Вязкость выражают в градусах, причем 1° соответствует глубине проникания иглы на 0,1 мм.

Пенетрометр (рис. 10.1) состоит из металлического штатива 1, нижняя часть которого представляет собой опорную площадку с тремя установочными винтами для приведения ее в горизонтальное положение. К опорной площадке прикреплен вращающийся предметный столик 9 для установки кристаллизатора 8 объемом не менее 0,3 л и высотой 45–50 мм с металлической цилиндрической чашкой высотой 35 мм и диаметром 55 мм, в которую помещают испытываемый битум. На верхнем кронштейне штатива укреплен циферблат 2, разделенный на 360°, и контактная рейка (кремальера) 3, движение которой передается стрелке циферблата. На нижнем кронштейне закреплен свободно падающий стержень с иглой 6 и грузом общей массой  $100 \pm 0,01$  г, удерживаемый стопорной кнопкой 4. Сбоку, несколько выше предметного столика, к стойке шарнирно прикреплено зеркало 5. Стальная игла пенетрометра длиной 50,8 мм и диаметром 1 – 1,02 мм должна быть закалена и тщательно отполирована. Острие иглы должно быть затуплено. Диаметр затупленной части 0,14–0,16 мм.



#### Ход работы (порядок выполнения работы)

Предварительно обезвоженный и процеженный битум расплавляют на песчаной или масляной бане или в сушильном шкафу до подвижного состояния (не перегревая битум) и тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха. Затем битум наливают в металлическую чашку на высоту не менее 30 мм и выдерживают при температуре 18–20 °С в течение 1 ч, предохраняя образец от пыли.

После этого чашку с битумом помещают в ванну с водой, нагретой до 25 °С, и оставляют на 1 ч до испытания. Высота слоя воды над битумом должна быть не менее 25 мм. Температуру в ванне поддерживают постоянной, добавляя горячей или холодной воды. Колебания температуры воды в ванне не должны превышать  $\pm 0,5$  °С.

Через 1 ч чашку с битумом помещают в кристаллизатор, наполненный водой, имеющей температуру 25 °С. Кристаллизатор устанавливают на столик пенетрометра. Подводят острие иглы к поверхности битума, при этом игла должна слегка касаться битума, но не входить в него. Для облегчения этой операции служит зеркало. Кремальере доводят до верхней площадки стержня, несущего иглу, и устанавливают стрелку на нуль или отмечают ее положение, после чего одновременно пускают секундомер и нажимают стопорную кнопку, давая игле свободно входить в битум в течение 5 с. По истечении этого времени кнопку отпускают. Затем доводят нижнюю часть кремальеры до верхней площадки стержня с иглой, и стрелка, передвигающаяся вместе с кремальерой, показывает расстояние, град, пройденное иглой за 5 с.

Определение повторяют три раза в различных точках на поверхности битума, отстоящих не менее чем на 10 мм от краев чашки и одна от другой. Среднее арифметическое этих определений дает значение проникания в градусах, соответствующее глубине проникания иглы в десятых долях миллиметра. Расхождение между результатами определения глубины проникания, полученными в каждом из трех опытов, не должно превышать следующих значений:

Глубина проникания иглы, град	150–200	75–150	25–75	До 25
Расхождение, град	10	5	3	1

При больших расхождениях результатов испытание следует повторить.

После каждого погружения (определения) иглу вынимают из гнезда, обмывают бензином острие и насухо вытирают.

Содержание отчета:

Результаты опытов заносят в таблицу 10.1

Таблица 10.1

Результаты определения вязкости битума

Температура испытания	Номер опыта	Глубина проникновения иглы (пенетрация), 0,1 мм	
		отдельное значение	среднее значение

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТЯЖИМОСТИ БИТУМА**

Цель и задачи работы – освоение методики определения растяжимости битума.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: дуктилометр, нефтяной битум.

Общие положения (теоретические сведения)

Растяжимостью (дуктильностью) называют свойство битумов вытягиваться в тонкие нити под влиянием приложенной растягивающей нагрузки. Растяжимость характеризуется длиной нити до разрыва ее при температуре 25 °С и скорости вытягивания 5 см/мин и выражается в сантиметрах.

Растяжимость битумов определяют на приборе - дуктилометре (рис. 10.2), который представляет собой деревянный ящик, покрытый внутри оцинкованной сталью. По всей длине ящика проходит червячный винт 1 с насаженными на него двумя салазками 2, которые передвигают по винту при помощи маховичка вручную или при помощи электродвигателя 3. Ящик снабжен шкалой, по которой скользит указатель, закрепленный на салазках.

Общие положения (теоретические сведения)

Подготовленный к испытанию битум расплавляют, перемешивают и тонкой струей наливают в латунные сборные формы 4 с небольшим избытком. Перед заливкой битума внутренние поверхности форм смазывают смесью талька с глицерином (состав 1 : 3) и устанавливают на металлическую пластинку. Формы с битумом охлаждают в течение 30 мин в помещении с температурой 18–20 °С и

после этого горячим ножом срезают избыток битума в два приема, от середины формы к ее краям.

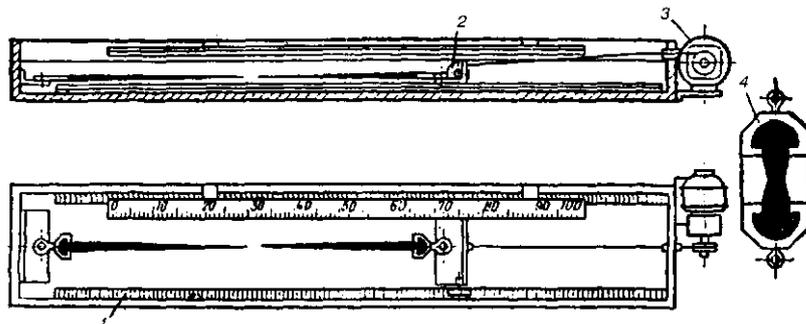


Рис. 10.2. Дуктилометр

Образец битума с формой и пластинкой помещают в ящик дуктилометра, куда предварительно налита вода температурой 25 °С, и выдерживают в нем в течение 1,5 ч, следя за тем, чтобы температура воды была постоянной  $25 \pm 0,5$  °С. Слой воды над образцом должен быть не менее 25 мм. Затем, проверив скорость движения салазок и температуру воды, закрепляют форму в дуктилометре (надевают ее на штифты, укрепленные на салазках и стойке ящика), отнимают боковые части формы и включают электродвигатель или начинают вращать маховик, растягивая битум со скоростью 5 см/мин. Длину нити битума, см, отмеченную указателем в момент ее разрыва, принимают за показатель растяжимости битума. Испытание проводят три раза, и за окончательный результат принимают среднее арифметическое трех определений.

При определении растяжимости битумов, имеющих плотность значительно больше (или меньше) единицы, плотность воды соответственно или повышают раствором поваренной соли, или понижают добавлением спирта, чтобы нить растягиваемого битума не всплыла и не потонула.

Содержание отчета:

Результаты опытов заносят в таблицу 10.2

Таблица 10.2

Результаты определения растяжимости битума

№ омер опыта	Растяжимость, мм	
	отдельное значение	среднее значение

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗМЯГЧЕНИЯ БИТУМА**

Цель и задачи работы – освоение методики определения температуры размягчения битума.

Объекты исследования, оборудование, материалы и наглядные пособия: прибор «кольцо и шар», термометр, секундомер.

Общие положения (теоретические сведения)

Температура размягчения позволяет судить об относительной теплостойкости и степени размягчаемости битумов при нагревании. Температуру размягчения определяют на приборе «кольцо и шар» (рис. 10.3), который состоит из трех

металлических пластин, скрепленных на определенном расстоянии одна от другой проходящими через них и прикрепленными к ним металлическими стержнями. Расстояние между двумя нижними пластинами равно 25,4 мм. В средней пластине имеются два отверстия, в каждое из которых вставляют латунные кольца 1 внутренним диаметром 15,88, высотой 6,25 и толщиной стенок 2,38 мм. В середине верхней пластины имеется отверстие, в которое вставляют термометр 4.

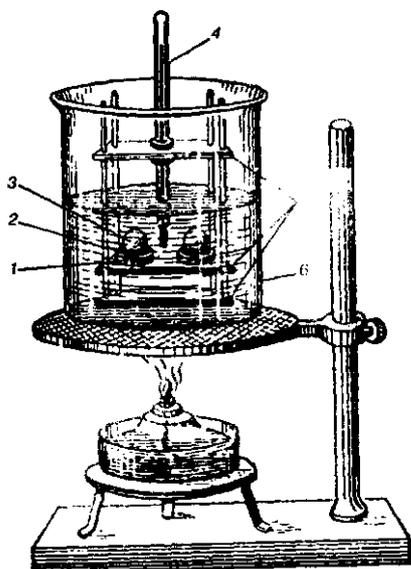


Рис. 10.3. Прибор «кольцо и шар» для определения температуры размягчения битума  
Ход работы (порядок выполнения работы)

Температуру размягчения битума по методу «кольцо и шар» определяют следующим образом. Латунные кольца укладывают на металлическую пластинку и смазывают смесью талька с глицерином (состав 1:3). Затем заполняют их с некоторым избытком расплавленным и перемешанным в течение 15 мин битумом 2.

После охлаждения избыток битума срезают нагретым ножом вровень с краями. Кольца устанавливают горизонтально в отверстия на средней пластине прибора. Термометр вставляют в среднее отверстие верхней пластины точно по оси так, чтобы ртутный шарик его был на нижнем уровне кольца.

Прибор с кольцами ставят в стакан 6, наполненный дистиллированной охлажденной водой с температурой 5 °С. Через 15 мин прибор вынимают из стакана, на каждое кольцо в центре поверхности битума кладут стальной шарик 3 диаметром 9,5 мм и массой 3,45–3,55 г и помещают прибор в тот же стакан. Стакан с прибором ставят на асбестовую сетку, нагревают на газовой горелке или спиртовке так, чтобы скорость подъема температуры составляла 5 °С/мин. При нагревании битум размягчается и стальной шарик вместе с битумом проходит сквозь отверстие кольца. Температура, при которой деформирующийся битум под действием массы шарика коснется нижнего диска прибора (рис. 10.4), принимают за температуру размягчения. Если температура размягчения битума по методу «кольцо и шар» окажется, например, равной 70 °С, то сокращенно записывают «70 °К и Ш». В том случае, когда температура размягчения битума выше 80 °С, прибор заполняют не водой, а глицерином; образец перед испытанием выдерживают в течение 15 мин при температуре 32 °С.

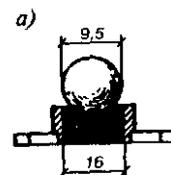


Рис. 10.4. Положение шара в приборе «кольцо и шар»

Испытание проводят два раза, и температуру размягчения вычисляют как среднее арифметическое двух определений.

Содержание отчета:

Результаты опытов заносят в таблицу 10.3.

Таблица 10.3

Результаты определения температуры размягчения битума

Номер опыта	Температура размягчения, °С	
	отдельное значение	среднее значение

Таблица 10.4

Физико-механические свойства нефтяных битумов

Марка битума	Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	Растяжимость при 25 °С, см, не менее	Температура, °С, не ниже	
			размягчения	вспышки
Строительные битумы				
БН-50/50	41-60	40	50	220
БН-70/30	21-40	3	70	230
БН-90/10	5-20	1	90	240
Кровельные битумы				
БНК-45/180	140-220	Не нормируется	40-50	240
БНК-90/40	35-45	То же	85-95	240
БНК-90/30	25-35	То же	85-95	240
Дорожные битумы				
БНД-200/300	201 – 300	—	35	200
БНД-130/200	131–200	65	39	220
БНД-90/130	91–130	60	43	220
БНД-60/90	61–90	50	47	220
БНД-40/60	40–60	40	51	220

## 12. Литература

1. Вешневская В.Г. Неразрушающие методы испытаний строительных материалов : учебно-методическое пособие (лабораторный практикум) для студентов направления подготовки 08.03.01 Строительство (профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций») / Вешневская В.Г., Корниенко С.В., Малинин Д.Г.. — Макеевка : Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2020. — 91 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL:

<https://www.iprbookshop.ru/93866.html> (дата обращения: 27.12.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

2. Гилязидинова, Н. В. Строительные материалы : учебное пособие / Н. В. Гилязидинова, Т. М. Федотова, В. Б. Дуваров. — Кемерово :КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2019. — 172 с. — ISBN 978-5-00137-050-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/122210> (дата обращения: 27.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей

3. Дворкин Л.И. Строительное материаловедение [Электронный ресурс]/ Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.— Электрон. текстовые данные.— М.: Инфра-Инженерия, 2013.— 832 с.

4. Кононова О.В. Современные отделочные материалы [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кононова О.В.— Электрон. текстовые данные.— Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, Поволжский государственный технологический университет, ЭБС АСВ, 2010.— 97 с.

5. Дворкин Л.И. Строительные минеральные вяжущие материалы [Электронный ресурс]: учебно-практическое пособие/ Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.— Электрон. текстовые данные.— М.: Инфра-Инженерия, 2013.— 544 с.

6. Дергунов С.А. Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства) [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Дергунов С.А., Орехов С.А.— Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2012.— 106 с.