

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**по оценке свойств
строительных материалов**

Часть 1

**Ростов-на-Дону
2007**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«РОСТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по оценке свойств строительных материалов

Часть 1

*Утверждено
редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Ростов-на-Дону
2007

УДК 691
ББК 38.3
Л12

Авторы: А.Н. Юндин, А.А. Тимонов, А.В. Каклюгин, А.М. Осадченко, С.Н. Дахно, С.И. Филатова, Е.И. Лысенко, Е.В. Измалкова

Рецензент: канд. техн. наук, профессор А.Я.Пылаев (Ростовская академия архитектуры и искусств)

Лабораторный практикум по оценке свойств строительных материалов. Часть 1: Учебное пособие / Под общ. ред. А.Н. Юндина. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2007. – 96 с.

Описаны методы и аппаратура для стандартных испытаний главнейших строительных материалов и изделий. Сведения о методах испытаний каждого материала предваряются кратким описанием его основных технических свойств и объяснением выбора принятой методики испытаний. Все методы испытаний и основные свойства материалов даны в соответствии с действующими ГОСТами.

Рассчитано на студентов строительных специальностей вузов. Может быть использовано в качестве справочного пособия для строителей-практиков строительных лабораторий.

УДК 691
ББК 38.3

Введение

Строительство – одна из самых материалоемких отраслей народного хозяйства. Номенклатура строительных материалов очень велика и постоянно пополняется.

Контроль качества материалов как при производстве, так и при применении стал обязательным компонентом в строительной индустрии. С ростом автоматизации и механизации производственных процессов все более возрастает роль лабораторного контроля характеристик исходных материалов и конечной продукции, а также параметров технологических процессов. Быстрое развитие техники измерений и лабораторных испытаний ведет к повышению их доли в общих затратах при производстве и использовании продукции в строительстве.

В современных строительных лабораториях, оснащенных сложными испытательными машинами и приборами, проводятся испытания самых разнообразных по назначению, структуре и составу материалов. В оборудование лабораторий строительных материалов помимо традиционных испытательных приборов и машин (весов, измерительных приборов, прессов, разрывных машин) входят новейшие приборы, например ультразвуковые, позволяющие определять точность изделий без разрушения, камеры погоды, с помощью которых оценивается долговечность материалов в разных климатических условиях и т.п.

Постоянное расширение номенклатуры строительных материалов находит отражение и в количестве испытаний, проводимых строительными лабораториями.

Лабораторная работа 1

ОБЩИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Общие сведения

Вещественный состав и условия образования (природные материалы) или особенности изготовления (искусственные материалы) предопределяют своеобразие *структуры* (строения) материалов, которая в свою очередь обуславливает важнейшие технические свойства и соответственно наиболее эффективные способы эксплуатации этих материалов в строительной практике.

При оценке особенностей различных строительных материалов учитываются как *основные* (общие), одинаково важные для всех материалов, так и *специальные*, характерные для материалов, используемых в специфических условиях, свойства.

В соответствии с возможными эксплуатационными воздействиями свойства строительных материалов подразделяются:

- на **физические** – определяющие особенности физического состояния данного тела или влияние на него различных физических воздействий и процессов (плотность, пористость, дисперсность, влажность, водопоглощение, тепло- и электропроводность и т.п.);
- **механические** – определяющие способность материалов деформироваться и сопротивляться разрушению под воздействием различных механических нагрузок (прочность, деформативность, твердость, истираемость и т.п.);
- **химические** – характеризующие способность материалов к химическим превращениям и их стойкость по отношению к химической коррозии.

Способность материалов сопротивляться одновременному или поочередному воздействию физических, механических и химических факторов характеризует *долговечность* их работы в реальных условиях эксплуатации.

Все указанные свойства оцениваются числовыми показателями, устанавливаемыми стандартными испытаниями.

1.2. Основные физические свойства материалов

1.2.1. Плотность

Плотностью называют массу единицы объема материала.

Таким образом, чтобы вычислить плотность ρ (г/см³, кг/м³), необходимо знать массу материала m (г, кг) и его объем v (см³, м³).

Поскольку основная масса строительных материалов характеризуется различной степенью пористости, то для них определяют две структурные характеристики – *плотность среднюю* и *плотность истинную*.

Средняя плотность (ρ_o) характеризует массу единицы объема материала в *естественном* (вместе с порами и неплотностями) состоянии.

Истинная плотность (ρ) является физической константой вещества, из которого состоит данный материал. Таким образом, истинная плотность есть масса единицы объема однородного материала в *абсолютно плотном* состоянии. При оценке плотности рыхлых, состоящих из отдельных зерен, материалов (цемент, песок, гравий, щебень) устанавливают *плотность насыпную* (ρ_n), на величину которой оказывает влияние не только зерновая пористость, но главным образом межзерновая пустотность в рыхлонасыпном объеме материала.

Таким образом, насыпная плотность характеризуется отношением массы зернистых материалов ко всему занимаемому ими объему, включая и пустоты между частицами.

Как на среднюю, так и на насыпную плотность материалов оказывает влияние их влажность. Поэтому для каждого материала соответствующими ГОСТами устанавливается влажность, при которой и определяют его среднюю плотность.

Определение средней плотности

Методика определения средней плотности зависит от геометрической формы испытуемых образцов материала – правильной (куб, параллелепипед, цилиндр) и неправильной. При установлении средней плотности материала в образцах *правильной геометрической формы* используют следующее оборудование и инструменты: весы с разновесами технические коромысловые (ВЛТ) или квадрантные (ВЛТК) с погрешностью взвешивания не более 0,1 г (при массе образца 500 г) и не более 1 кг (при массе образца более 500 г); сушильный шкаф, где (при соответствующем требовании ГОСТа) образцы высушивают до постоянной массы при необходимой температуре, штангенциркуль для определения линейных размеров образца, не превышающих 100 мм, или металлическая линейка – при больших размерах.

Предварительно подготовленные и взвешенные образцы измеряют соответствующими инструментами с целью определения их объема. Если образец имеет форму куба или параллелепипеда, то каждую его грань измеряют в трех местах (рис. 1.1) и окончательный (расчетный) размер каждой грани (см) вычисляют как среднее арифметическое значение трех измерений (a_{cp} , b_{cp} , h_{cp}).

Объем образца в см^3 рассчитывают по формуле:

$$V = a_{cp} b_{cp} h_{cp}. \quad (1.1)$$

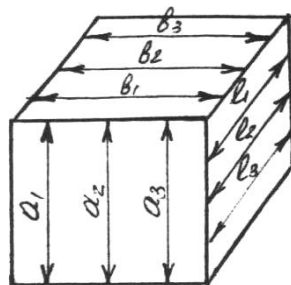


Рис. 1.1. Схема измерения образцов кубической формы

В случае образца цилиндрической формы устанавливают расчетные размеры его диаметра (d_{cp}) и высоты (h_{cp}).

Расчетный (средний) диаметр вычисляют как среднее арифметическое из четырех взаимно перпендикулярных диаметров, параллельных основанию цилиндра. Расчетную высоту устанавливают так же, как среднее арифметическое значение результатов четырех измерений, образующих цилиндр, расположенных на концах взаимно перпендикулярных диаметров (рис. 1.2).

Объем цилиндра (см^3) вычисляют по формуле:

$$V = \frac{\pi d_{cp}^2}{4} h_{cp}, \quad \pi = 3,14. \quad (1.2)$$

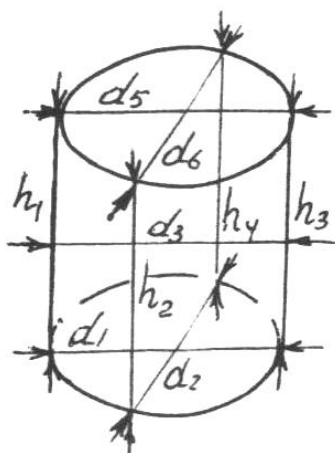


Рис. 1.2. Схема измерения образцов цилиндрической формы

Полученные результаты заносятся в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Определение средней плотности образцов
правильной геометрической формы**

Показатель	Размерность	Наименование материала			
Масса образца (m)	г				
Линейные размеры:					
длина (a_{cp})	см				
ширина (b_{cp})	см				
высота (h_{cp})	см				
диаметр (d_{cp})	см				
Объем образца (V)	см ³				
Средняя плотность (ρ_o)	г/см ³				
	кг/м ³				

Среднюю плотность образцов *неправильной геометрической формы* определяют с помощью объеммера при крупных (массой более 500 г) образцах, либо методом гидростатического взвешивания.

В первом случае предварительно взвешенный, а потом насыщенный водой образец погружают в объеммер – металлический цилиндр со сливной трубкой и по массе вытесненной воды определяют его объем, принимая во внимание, что плотность воды равна 1 г/см³. Отношение массы сухого образца к объему вытесненной им жидкости и характеризует среднюю плотность данного материала.

Метод гидростатического взвешивания является наиболее распространенным при определении средней плотности как плотных, так и пористых материалов. Метод основан на использовании закона Архимеда, в соответствии с

которым на тело, погруженное в воду, действует выталкивающая сила, равная массе вытесненной им воды. Чтобы определить эту силу, испытуемый образец взвешивают на воздухе и в воде; разность весов и есть выталкивающая сила, величина которой численно равна объему образца.

Для проведения испытаний используют весы с разновесами технические коромысловые (ВЛТК) со специальной подставкой, на которую устанавливается стакан с водой, куда и опускают подвешенный на нитке испытуемый образец (рис. 1.3).

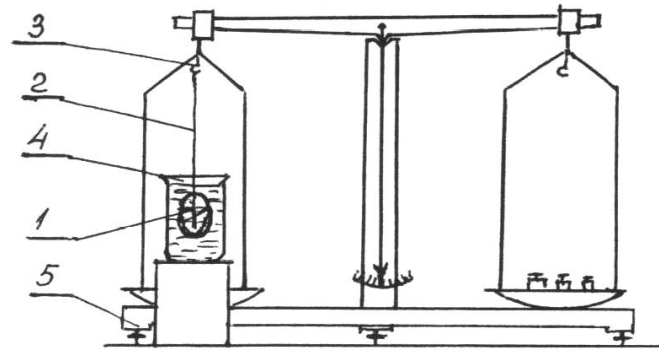


Рис 1.3. Весы для гидростатического взвешивания образца неправильной геометрической формы:

1 – образец; 2 – крепление образца; 3 – крючок;
4 – сосуд с водой; 5 – технические весы

В случае образца пористого его после предварительного взвешивания и определения его массы в воздухе (m) покрывают расплавленным парафином и после остывания снова взвешивают сначала на воздухе (m_1), а потом в воде (m_2). Зная эти массы, определяют объем (см^3) образца вместе с парафиновой оболочкой по формуле

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} . \quad (1.3)$$

При известной плотности парафина (ρ_n) вычисляют объем (см^3) парафинового покрытия образца:

$$V_n = \frac{m_1 - m}{\rho_n} ; \quad (1.4)$$

объем (см^3) непарафинированного образца находят по формуле:

$$V = V_1 - V_n . \quad (1.5)$$

Зная массу (m) и объем (V) образца, устанавливают его среднюю плотность (ρ_o):

$$\rho_o = \frac{m}{V} = \frac{m}{V_1 - V_n} . \quad (1.6)$$

Подобным испытаниям подвергают серию из двух образцов одного и того же материала массой не менее 100 г каждый. Если средняя плотность этих образцов отличается более чем на $0,02 \text{ г/см}^3$, то дополнительно испытывают третий образец. За результат принимают среднее арифметическое значение двух ближайших результатов.

Результаты измерений и расчетов заносят в табл. 1.2.

Таблица 1.2

**Определение средней плотности образцов
неправильной геометрической формы**

Показатель	Размерность	Наименование материала		
		№ образца		
		1	2	3
Масса образца в воде (m)	г			
Масса парафинированного образца в воздухе (m_1)	г			
Масса парафинированного образца в воде (m_2)	г			
Объем парафинированного образца (V_1)	см^3			
Объем парафина (V_n)	см^3			
Объем непарафинированного образца (V)	см^3			
Средняя плотность образца (ρ_o)	г/см^3			
Среднее значение плотности (ρ_{cp})	г/см^3			
	кг/см^3			

Определение насыпной плотности (ρ_n)

При установлении насыпной плотности рыхлых (зернистых) материалов их объем измеряют мерными цилиндрическими сосудами, вместимость которых зависит от крупности зерен используемого материала. Крупнозернистые материалы с размером зерен более 5 мм засыпают в мерные сосуды емкостью 5; 10; 20; 50 л совком с высоты 10 см без последующего уплотнения. Объем мерного цилиндра выбирают в зависимости от максимальной крупности зерен:

при крупности до 10 мм – 10 л
 до 20 мм – 20 л
 до 40 мм – 40 л.

Мелкозернистые же материалы (с размером зерен менее 5 мм) засыпают в предварительно взвешенный с точностью до 1 г мерный сосуд емкостью 1 л из стандартной воронки (рис. 1.4), конусообразный металлический усеченный корпус которой заканчивается выходной трубкой с затвором. Расстояние между этим затвором и верхней кромкой мерного сосуда соответствует 10 см. Используемый материал засыпают в мерную емкость с избытком, который срезают вровень с краями сосуда от середины в обе стороны металлической линейкой.

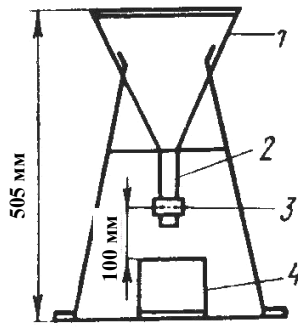


Рис. 1.4. Стандартная воронка:

1 – воронка; 2 – трубка; 3 – задвижка; 4 – мерный сосуд

После удаления этого излишка сосуд с материалом взвешивают и по разности между массой сосуда с материалом (m_2) и массой пустого сосуда (m_1) определяют массу материала, всыпанного в сосуд. Зная объем мерного сосуда (V_c) и массу материала, рассчитывают насыпную плотность (ρ_n):

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V_c}. \quad (1.7)$$

Насыпную плотность устанавливают как среднее значение из двух определений с погрешностью не более 10 кг/м^3 . При проведении указанных экспериментов материалы либо предварительно высушивают до постоянной массы, либо испытывают в состоянии естественной влажности.

Определение истинной плотности материала (ρ)

Поскольку истинная плотность есть масса единицы объема материала в абсолютно плотном (без пор) состоянии, то перед установлением данной характеристики необходимо подвергнуть испытываемый материал измельчению. Чем выше тонкость измельчения, тем точнее будет определяемый показатель. Поэтому перед испытаниями около 200 г тщательно перемешанной средней пробы материала высушивают в сушильном шкафу при соответствующей температуре, после чего подвергают тонкому измельчению в фарфоровой ступке или шаровой мельнице до прохода через сито № 02 (900 отв./см^2). До проведения испытаний измельченный материал в стаканчиках хранится в эксикаторе.

Испытаниями предусматривается использование следующего лабораторного оборудования: прибор Ле Шателье-Кандлю или пикнометры; весы чашечные технические коромысловые с разновесами (ВЛТ) или квадрантные (ВЛТК) с погрешностью взвешивания не более 0,01 г; термостат, обеспечивающий температуру материала при испытании $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$; сушильный шкаф с температурой нагрева $105 \div 110 \text{ }^\circ\text{C}$; эксикатор; стеклянный или фарфоровый стаканчик со стеклянной палочкой; стеклянная воронка; пипетка.

Истинную плотность с помощью прибора Ле Шателье определяют в следующей последовательности: прибор – стеклянная колба емкостью $120 - 150 \text{ см}^3$

(рис. 1.5), на узком горле которой нанесены две градуировочные шкалы, ниже и выше расширенной части, заполняют водой (или другой жидкостью, инертной по отношению к испытуемому материалу) до уровня в пределах нижней градуировки колбы (по низу мениска).

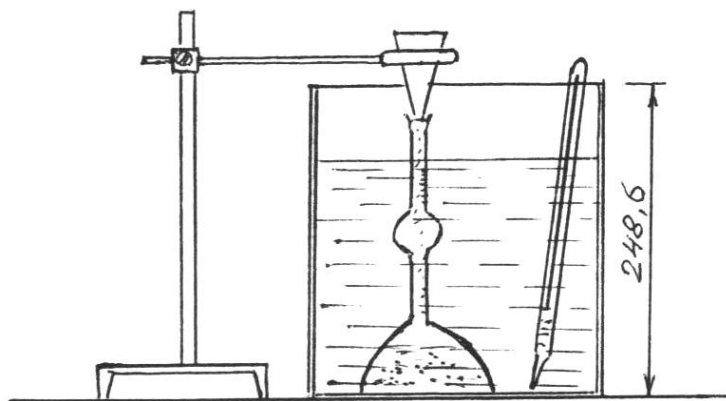


Рис. 1.5. Схема определения истинной плотности

Температура жидкости в колбе должна соответствовать температуре, при которой этот прибор был проградуирован – $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. На технических весах в стаканчике вместе с палочкой взвешивают с погрешностью не более 0,01 г около 80 г испытуемого материала, после чего его небольшими порциями всыпают через воронку в колбу до тех пор, пока жидкость окажется в пределах верхней шкалы уровня. Для удаления пузырьков воздуха из прибора его периодически следует слегка встряхивать. Объем всыпанного материала определяют по разнице отсчетов по верхней и нижней градуировочным шкалам.

Остаток порошка вместе с тарой и палочкой снова взвешивают и вычисляют в г/см^3 истинную (ρ) плотность материала:

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (1.8)$$

где m_1 – первоначальная масса порошка со стаканчиком и палочкой, г;

m_2 – масса остатка порошка со стаканчиком и палочкой, г;

V – объем порошка, всыпанного в колбу, см^3 .

Истинную плотность вычисляют с погрешностью не более $0,1 \text{ г/см}^3$ как среднее арифметическое результатов двух испытаний, расхождение между которыми не должно превышать $0,02 \text{ г/см}^3$. Данные экспериментов заносят в табл. 1.3

1.2.2. ПОРИСТОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Пористость характеризует степень заполнения объема материала порами. Поскольку поры в материале могут быть открытыми и условно замкнутыми, то различают пористость истинную (Π_u), включающую все виды пор, и кажущуюся, учитывающую только открытые, доступные для воды поры (Π_k).

Определение истинной плотности материала

Показатель	Размерность	Наименование материала	
		Номер пробы	
		1	2
Масса порошка с тарой и палочкой до всыпания в колбу (m_1)	г		
Масса порошка с тарой и палочкой после всыпания в колбу (m_2)	г		
Объем порошка, всыпанного в колбу (V)	см ³		
Истинная плотность материала (ρ)	г/см ³		
Среднее значение плотности материала (ρ)	г/см ³		

От характера и степени пористости материалов зависят важнейшие их свойства – водопоглощение, водопроницаемость, температура и теплопроводность, морозостойкость, механическая прочность и пр.

Истинную пористость материала (P_u) рассчитывают, используя для этого ранее определенные значения средней (ρ_o) и истинной (ρ) плотности,:

$$P_u = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right) \times 100 \% . \quad (1.9)$$

При расчетах истинной пористости значения ρ_o и ρ выражаются в одних единицах – г/см³ или кг/м³.

Результаты этих определений заносятся в табл. 1.4.

Определение истинной пористости

Показатель	Размерность	Данные испытаний	
		Наименование материала	
Средняя плотность материала (ρ_o)	г/см ³		
Истинная плотность материала (ρ)	г/см ³		
Истинная пористость (P_u)	%		

Открытая (кажущаяся) пористость материала характеризуется относительным содержанием пор, заполняемых водой в процессе его водонасыщения при атмосферном давлении. Различают водопоглощение по массе (W_m) и по объему (W_v), определяемые в % по следующим формулам:

$$W_m = \frac{(m_1 - m)}{m} \cdot 100 \% , \quad (1.10)$$

где m_1 – масса материала, насыщенного водой, г;
 m – масса сухого материала, г;

$$W_v = \frac{(m_1 - m)}{V} \cdot 100 \% . \quad (1.11)$$

Формула (1.11) при известной средней плотности (ρ_o) испытуемого материала может быть преобразована следующим образом:

$$W_v = \frac{(m_1 - m) \rho_o}{m \rho_e} \cdot 100 = W_m \cdot \rho_o , \quad (1.12)$$

где ρ_o – средняя плотность сухого образца, г/см³;
 ρ_e – истинная плотность воды, г/см³.

Степень заполнения пор материала водой оценивают коэффициентом насыщения (K_n), относя объемное (W_v) водопоглощение (кажущуюся пористость Π_k) к пористости истинной (Π_u) в %:

$$K_n = \frac{\Pi_k}{\Pi_u} = \frac{W_v}{\Pi_u} . \quad (1.13)$$

Величина коэффициента насыщения позволяет косвенно оценить морозостойкость материала, считая его морозостойким при максимальном значении K_n не превышающем 0,8.

1.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ

Испытания проводят на двух – трех образцах массой не менее 200 г, отобранных из материала, который использовался для определения средней и истинной плотности. Образцы предварительно высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при соответствующей температуре и взвешивают на технических коромысловых чашечных или квадрантных весах с точностью до 0,01 г.

Подготовленный образец устанавливают в стеклянный сосуд и заливают водой на $\frac{1}{4}$ высоты. В таком положении его выдерживают 5 мин, после чего вынимают из воды, протирают влажной тканью и взвешивают. По формулам (1.10), (1.12) рассчитывают водопоглощение по массе и объему при $\frac{1}{4}$ погружения образца в воду.

Подобные операции и вычисления производят при последующих погружениях (на $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ и всю высоту) и пятиминутных выдержках образца в сосуде с водой. Зная величину объемного водопоглощения при полном погружении в воду и истинную пористость материала, рассчитывают коэффициент насыщения и по данным испытаний строят график кинетики процесса водопоглощения (рис. 1.6). Результаты эксперимента заносят в табл. 1.5.

Определение водопоглощения

Показатель	Размерность	Глубина погружения				
		0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	полное
Длительность водонасыщения	мин					
Масса образца (m)	г					
Приращение массы (Δm)	г					
Водопоглощение по массе (W_m)	%					
Водопоглощение по объему (W_v)	%					
Коэффициент насыщения (K_n)	-					

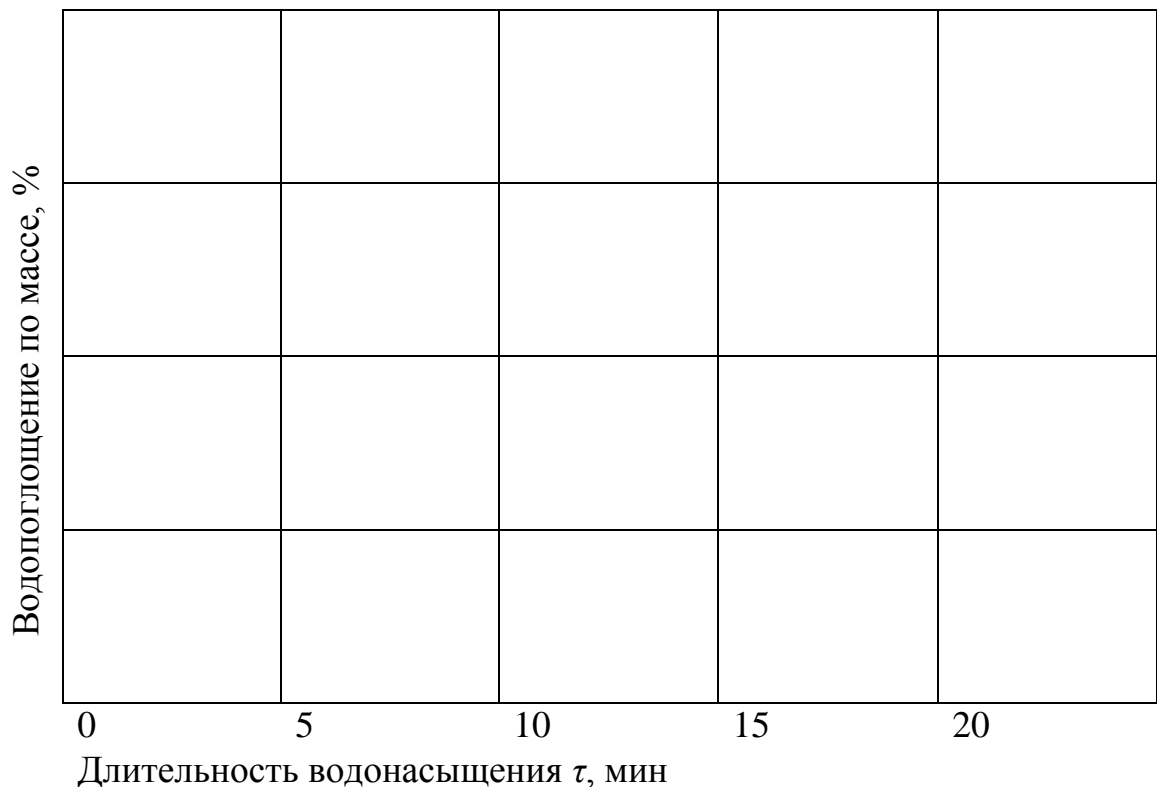


Рис. 1.6. Кинетика водопоглощения

1.3. Прочность материалов и факторы ее определяющие

Прочность является одной из важнейших механических характеристик материалов, которой оценивают их способность в определенных условиях сопротивляться разрушению под воздействием внутренних напряжений, вызванных внешними (сжимающими, изгибающими, растягивающими, скалывающими и др.) силами. На показатели прочности оказывает влияние ряд факторов – неоднородность вещественного состава и строения материала, его температура и влажность, форма и размеры испытуемых образцов, характер обработки их поверхностей, контактируемых с поверхностью плит пресса, на котором производят испытания, скорость приложения нагрузки, направление приложения на-

грузки по отношению к расположению слоев или волокон материала. Именно поэтому при оценке прочностных характеристик материалов испытаниям подвергают серию (не менее трех) образцов и за конечный результат принимают среднее значение показателей прочности.

Поскольку форма и размеры образцов (масштабный фактор) оказывают влияние на показатели прочности, то соответствующими ГОСТами предусмотрено определение механических характеристик материалов на образцах стандартных размеров – кубы с ребром 15 см для цементных бетонов; кубы с ребром 7,07 см для строительных растворов; кубы с ребром 15 см или цилиндры с диаметром и высотой 4 – 5 см для природного камня и т.п.

Мерой прочности служит *предел прочности* материала при соответствующей деформации (R), равный предельному напряжению, превышение которого вызывает разрушение испытуемого образца. В строительной практике чаще всего оперируют пределами прочности при сжатии ($R_{сж}$) и при изгибе (R_u).

Предел прочности при сжатии рассчитывают по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{S} \text{ МПа, кгс/см}^2, \quad (1.14)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н, кгс;

S – площадь поперечного сечения образца (м^2 , см^2) (для куба и призмы $S=a^2$, для цилиндра $\pi d^2/4$)

Предел прочности при изгибе (R_u) при сосредоточенной нагрузке в середине пролета (рис. 1.7) рассчитывают по формуле:

$$R_u = \frac{3Pl}{2bh^2}, \text{ МПа, кгс/см}^2, \quad (1.15)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н, кгс;

l – расстояние между опорами испытуемого образца (свободная длина, пролет), м, см;

b и h – ширина и высота образца, м, см.

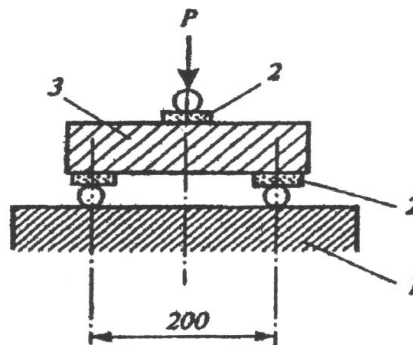


Рис. 1.7. Схема испытания кирпича на изгиб при определении его марки по прочности:

1 – плита пресса; 2 – выравнивающий материал; 3 – кирпич

При сосредоточенной нагрузке, приложенной в 2/3 пролета (рис. 1.8), расчетная формула приобретает вид:

$$R_u = \frac{Pl}{bh^2}, \text{ МПа, кгс/см}^2. \quad (1.16)$$

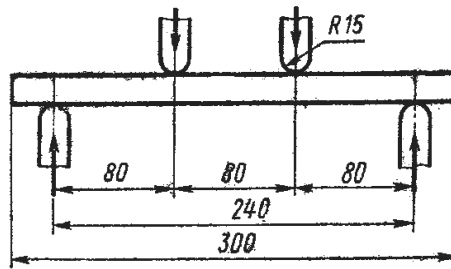


Рис. 1.8. Схема приложения сил при испытании на статический изгиб

Зная среднюю плотность (ρ_o) и предел прочности материала при соответствующей деформации (R) можно рассчитать удельную прочность – коэффициент конструктивного качества (KKK) – материала:

$$KKK = \frac{R}{\rho_o}. \quad (1.17)$$

Чем выше этот коэффициент, тем эффективнее считается данный материал. Повышения KKK можно добиться либо понижением ρ_o , либо повышением R .

Определение прочности материала при осевом сжатии и влияние на этот показатель масштабного фактора

При установлении прочностных показателей испытуемого материала и влиянии на них формы и размеров испытуемых образцов используются следующее оборудование, инструменты и образцы:

- прессы гидравлические мощностью от 100 до 500 Кн;
- технические или торговые весы с разновесами и с погрешностью взвешивания от 200 мг до 0,02 кг соответственно;
- штангенциркуль и металлическая линейка;
- три серии образцов-кубов с ребром 3; 5; 7,07 см по три шт. в каждой из них, изготовленные из гипсового теста или цементно-песчаного раствора, выдержанные до момента испытания в определенных температурно-влажностных условиях.

Подготовка и проведение испытаний

При выборе прессы учитывается, что разрушающая нагрузка должна составлять не менее 0,2 и не более 0,8 предельной нагрузки (P) прессы. Плиты прессы должны всей плоскостью примыкать к поверхностям испытуемых образцов.

Каждую партию образцов перед испытаниями маркируют и отмечают опорные грани, учитывая при этом, что сжимающая нагрузка должна быть направлена параллельно слоям укладки формовочной смеси в форму. После обмера и взвешивания образцы устанавливают опорными гранями строго на середину нижней плиты пресса, имеющей разметку для центровки образца, или центрируя его с помощью специального шаблона.

При испытании нагружение образцов производится равномерно и непрерывно со скоростью 0,4 – 0,6 МПа/с до момента разрушения, который фиксируется по началу обратного движения указательной стрелки силоизмерителя при работающем нагружающем устройстве.

Предел прочности при сжатии ($R_{сж}$) образцов каждой серии вычисляют по формуле (1.14) с точностью до 0,1 МПа или 1 кГс/см² как среднее арифметическое из двух максимальных результатов.

Расчетную площадь сечения каждого из образцов вычисляют по результатам обмера как среднеарифметический показатель двух опорных граней.

Результаты испытаний заносят в табл. 1.6 и по ним строят график (рис. 1.9) зависимости прочности от размера испытываемых образцов.

Таблица 1.6

Результаты механических испытаний

Показатель		Размерность	Размеры образца, см								
			3×3×3			5×5×5			7,07×7,07×7,07		
			Номер образа в партии								
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
Расчетные размеры	Длина	см									
	Ширина	см									
Площадь рабочего сечения (опорных граней)		см ²									
Разрушающая нагрузка		кГс									
Предел прочности при сжатии отдельных образцов		кГс/см ² (МПа)									
Среднее арифметическое значение предела прочности в серии		кГс/см ² (МПа)									
Масштабный коэффициент		-									

Примечание. За масштабный коэффициент принимают среднее отношение предела прочности при сжатии стандартного образца (7,07×7,07×7,07) к соответствующему показателю образцов других размеров.



Рис. 1.9. Зависимость прочности образцов при сжатии от их размеров

Лабораторная работа 2

ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (состав, свойства, применение в строительстве)

2.1. Общие сведения

Сырьевой основой для получения различных по виду, форме и назначению природных и искусственных каменных материалов и изделий являются плотные или рыхлые горные породы.

Горными породами называются геологические тела, сложенные *минеральными агрегатами* определенного состава и обладающие специфическим строением и физико-механическими свойствами. При этом как минеральный состав, так и строение (структура, текстура) различных горных пород непосредственно связаны с условиями их образования.

Поскольку *минералы* как составляющая часть горных пород представляют собой приблизительно однородные по химическому составу и физическим свойствам природные *кристаллические* тела, образующиеся в результате физико-химических процессов в земной коре, то присущие им свойства непосредственно передаются и соответствующим горным породам.

В свою очередь разнообразие физических свойств минералов непосредственно зависит от характера строения их *кристаллов*, представляющих собой однородные по составу образования строго геометрической формы с закономерным пространственным строением – *кристаллической решеткой*.

Из 10000 известных в настоящее время минералов в образовании горных пород принимают участие не более 50, получивших в связи с этим название *породообразующих*.

Кроме основных разновидностей минералов в горных породах в *качестве примесей* встречаются минералы второстепенные.

Среди породообразующих выделяются минералы первичные, возникающие при формировании той или иной горной породы, и вторичные, являющиеся продуктами видоизменения первичных минеральных образований.

Основная масса породообразующих минералов встречается преимущественно или исключительно в горных породах, которые по условиям образования подразделяются на магматические, осадочные и метаморфические (видоизмененные), а по количеству входящих в них минералов – на мономинеральные (одноминеральные) и полиминеральные, состоящие из нескольких минералов.

Относительно большое разнообразие горных пород удобно и логично изучать, если их классифицировать в зависимости от условий образования на три большие группы: магматические, осадочные и метаморфические. Это обусловлено тем, что условия образования определяют строение и свойства горных пород. Классификация впервые была предложена М.В. Ломоносовым и разработана академиками Ф.Ю. Левинсоном-Лесингом и А.П. Карпинским.

2.2. Изучение свойств породообразующих минералов

На важнейшие технические характеристики горных пород прямое влияние оказывает ряд характерных свойств, присущих породообразующим минералам: твердость, спайность, излом, блеск, окраска, плотность. Эти свойства зависят от строения и прочности связей в кристаллической решетке соответствующего минерала.

Твердость – свойство, характеризующее поверхностную энергию минерала, т.е. сопротивляемость этой поверхности царапанию другим, более твердым камнем или предметом. Это свойство, связанное со строением кристаллической решетки, обычно оценивается по десятибалльной шкале твердости (табл. 2.1), предложенной немецким минералогом Ф. Моосом, согласно которой минералы группируются в соответствии с их относительной твердостью. Более точную оценку твердости получают, используя специальные склерометрические приборы, где твердость минерала оценивается глубиной отпечатка, который оставляет алмазная коническая игла или пирамидка, вдавливаемая под определенной нагрузкой в поверхность испытуемого образца.

Показатель твердости имеет большое практическое значение, так как косвенно характеризует механические свойства природного камня.

Каждый из десяти специально подобранных минералов, занимающий определенное место в шкале твердости Мооса, царапает все минералы с меньшим значением твердости, но в то же время сам царапается более твердым, стоящим выше его минералом.

Путем сравнения с этой шкалой может быть установлена твердость любого минерала.

Минералы с твердостью 1, 2 – мягкие, от 3 до 6 – средней твердости, выше 6 – твердые.

Поскольку шкала Мооса относительная, то с ее помощью можно установить лишь какой минерал тверже. Что же касается абсолютных значений твер-

дости, т.е. насколько увеличивается в количественном выражении твердость от ступени к ступени, по шкале Мооса узнать нельзя.

Таблица 2.1

Шкала твердости Мооса

Показатель твердости	Минерал	Характеристика твердости
1	Тальк	Скоблится ногтем
2	Гипс	Царапается ногтем
3	Кальцит	Царапается медной монетой
4	Плавиновый шпат (флюорит)	Легко царапается стальным ножом
5	Апатит	С трудом царапается стальным ножом
6	Ортоклаз	Царапается напильником
7	Кварц	Царапает оконное стекло
8	Топаз	Легко царапает кварц
9	Корунд	Легко царапает топаз
10	Алмаз	Не царапается ничем

При определении твердости по Моосу необходимо брать образцы с острыми краями и царапать на ровных (не затронутых выветриванием) поверхностях. Поскольку горные породы сложены из разнородных составных частей, использование шкалы Мооса в общем случае невозможно.

Спайность – способность минералов раскалываться по определенным направлениям – плоскостям спайности – является важным диагностическим признаком. Вместе с твердостью спайность характеризует механические свойства природных каменных материалов.

Спайность связана с внутренним строением минералов и не зависит от их внешней формы. Различают пять степеней спайности:

1) *весьма совершенная* – минерал легко расщепляется ногтями на тончайшие листочки (слюда, гипс, графит);

2) *совершенная* – под действием легких ударов минерал раскалывается на частицы правильной ограненной формы (кальцит, каменная соль);

3) *средняя* – при ударах образуются обломки минералов, на которых видны плоскости спайности (роговая обманка, флюорит);

4) *несовершенная* – плоскости спайности почти не видно (апатит);

5) *весьма несовершенная* – все образующиеся при ударах обломки неправильной формы (корунд, кварц).

Излом – диагностический признак минералов, обладающих либо плохой спайностью, либо лишенных ее. Оценивается характером поверхности обломков, образующихся при разрушении минерала ударом.

Различают изломы *раковистый, занозистый, волокнистый, ровный, неровный, ступенчатый и землистый*. В частности раковистый излом типичен для всех разновидностей кварца и других стекловидных пород (обсидиан).

Блеск – диагностический признак, характеризующий декоративные особенности минералов. В зависимости от величины показателя преломления светового луча, проходящего через кристаллическую решетку минерала, и характера его отражающей поверхности блески подразделяются на *стеклянный, металлический, перламутровый, жирный, шелковистый, матовый*.

Окраска – признак, определяющий степень декоративности минерала. У полиминеральных горных пород является основным при использовании их в качестве облицовочных материалов.

Плотность (истинная) зависит от химического состава и структуры минералов. Она может колебаться в широких пределах, предопределяя степень трудности добычи и механической обработки горных пород.

Изучение минерального состава горных пород и установление вида исследуемых минералов требует использования специального оборудования, необходимой теоретической подготовки и практических навыков в области петрографии. Поэтому методикой проведения лабораторной работы предусматривается знакомство с коллекцией основных породообразующих минералов, а их структурные особенности и свойства устанавливаются индивидуально – анализом данных соответствующих специальных литературных источников.

Завершающим этапом является заполнение табл. 2.2, характеризующей важнейшие свойства основных породообразующих минералов.

2.3. Изучение свойств горных пород

В основу классификации горных пород в петрографии положен способ их образования – генезис. В соответствии с этим они подразделяются на *магматические* (магматиты), *осадочные* и *метаморфические* (метаморфиты). Их процентное соотношение в составе верхней части земной коры (до глубины 16 км) характеризуется следующими значениями:

магматиты	– 95 %;
осадочные	– 1 %;
метаморфиты	– 4 %

Магматические породы, образовавшиеся при остывании и кристаллизации вязкотекучего силикатного расплава – магмы, подразделяются на крупнозернистые *глубинные* (плутонические, абиксальные), интрузивные *плутониты* и *излавления* тонкозернистые (вулканические) *эффузивные*, или *эффузивы*.

В зависимости от количественного содержания кремнезема магматические породы подразделяются на *ультракислые* – SiO_2 свыше 80 %; *кислые* – SiO_2 65 – 80 %; *средние* – SiO_2 52 – 65 %; *основные* – SiO_2 45 – 52 %; *ультраосновные* – SiO_2 менее 45 %. Горные породы, содержащие SiO_2 40 – 55 %, но при этом повышенное по сравнению с другими магматитами количество щелочных металлов (15 – 20 %), относятся к *щелочным*.

Породы, занимающие как бы переходное положение между плутонитами и вулканитами и отличающиеся *разнозернистостью* относятся к *полуглубинным* (гипабиссальным) *жилным* и характеризуются *порфировидным* строением.

Осадочные (вторичные) горные породы образуются на поверхности земли из остаточных продуктов предварительно разрушенных пород. Разрушение осуществляется по схеме: физическое и химическое выветривание, механический и химический перенос, отложение и накопление продуктов разрушения, уплотнение и цементация рыхлого осадка с преобразованием его в породу.

Форма залегания этой группы пород в виде пластов предопределяет их характерные текстурные признаки – слоистость, пористость и наличие окаменелостей. По условиям образования осадочные породы подразделяются на *механические (обломочные)* *рыхлые* и *цементированные*, *химические* и *органогенные (биогенные)*.

Метаморфические (вторичные) породы, называемые также кристаллическими сланцами, образуются путем преобразования (видоизменения) исходных (магматических, осадочных) горных пород под воздействием вторичных высоких температур и давлений (термальный и динамометаморфизм), химически активных веществ и горячих газов (пневматолитический метаморфизм), циркулирующих в породах.

Результатом таких воздействий является изменение структурных, текстурных свойств, а иногда и химического состава материнских пород при сохранении их минерального состава и появлением минералов вторичных (гранаты, хлориты, серпентин и др.), характерных только для метаморфитов.

Основными показателями качества природных каменных материалов является их структурные, текстурные и механические характеристики (плотность, пористость, прочность при сжатии, твердость), определяющие долговечность соответствующих видов изделий, выбор инструментов и машин для их добычи и обработки. В отдельных случаях дополнительными механическими показателями исходного минерального сырья служат истираемость, износостойкость, сопротивление удару и др.

Структурные и текстурные особенности горных пород предопределяют их специфическое внутреннее строение и совокупность признаков, определяемых взаимным расположением и распределением составных частей породы в занимаемом ею объеме.

К *структурным* признакам относят степень кристалличности породы, форму, размер и взаимное расположение минеральных зерен, а также соотношение составных частей минеральных компонентов и их цементирующей связки. По степени кристалличности различают структуры: *полнокристаллические*

Таблица 2.2

Основные характеристики породообразующих минералов

Наименование минерала		Химический состав	Твердость по шкале Мооса	Истинная плотность, г/см ³	Спайность	Оптические свойства		
						Цвет	Блеск	Прозрачность
Минералы магматических горных пород	Кварц							
	Полевые шпаты (ортоклаз)							
	Слюды:	мусковит						
		биотит						
	Темноокрашенные минералы (роговая обманка)							
Минералы осадочных горных пород	Кварц							
	Опал							
	Глинистые минералы:	каолинит						
		монтмориллонит						
	Кальцит							
	Доломит							
	Гипс							

(зернистые), типичные для глубинных пород, *скрытокристаллические*, характеризующиеся совместным наличием в породе кристаллов и аморфного стекла, и *стекловатые*, типичные для излившихся (вулканогенных) пород камня.

Среди зернистых структур различают: *крупнозернистые* (размер зерен > 5 мм), *среднезернистые* (2 – 5 мм) и *мелкозернистые* (< 2 мм). По сочетанию кристаллов различных размеров породы подразделяются на *равномернозернистые* и *неравномернозернистые*, примером которых, в частности, являются структуры *порфировые*, отличающиеся наличием в тонкозернистой или стекловатой массе породы отдельных крупных кристаллов – *вкрапленников*.

Текстура характеризуется совокупностью признаков, определяющих взаимное расположение и распределение составных частей породы в занимаемом объеме. Ею отображаются особенности внешнего вида (сложения) данного материала: слоистость, сланцеватость, пористость, массивность, декоративность (естественная расцветка).

В соответствии с этим текстуры могут быть *однородными* с однообразным заполнением всего объема породы минеральной массой, *неоднородными*, для которых характерно чередование в данном объеме участков, отличающихся и минеральным составом, и структурными особенностями.

При оценке различных видов горных пород в лаборатории предполагается после ознакомления с коллекцией горных пород и соответствующими литературными (справочными) источниками заполнить табл. 2.3 – 2.5, характеризующие важнейшие технические свойства магматических, осадочных и метаморфических пород, используемых в качестве различных строительных материалов и изделий, а также в производстве искусственных материалов (вяжущих, керамических и др.).

2.4. Применение природных каменных материалов в строительстве

Природные каменные материалы находят весьма широкое применение в строительной практике и не только как основа для изготовления прочных и стойких (долговечных) конструктивных и декоративных штучных изделий (блоки, плиты, элементы мостовых и гидротехнических сооружений, дорожных покрытий и пр.), но и как сырье для производства материалов искусственных – минеральных вяжущих (цементных, гипсовых, известковых, магнезиальных), заполнителей (плотных и пористых) для цементных бетонов и растворов, керамзита и аглопорита, каменного литья, кислото- и электроизоляционных материалов, силикатных и керамических стеновых, кровельных и декоративно-отделочных изделий, асбестоцементных изделий и др.

Предварительно ознакомившись с минеральным составом, структурой, текстурой, условиями образования различных горных пород и используя справочные данные, лабораторно-практическая работа по природным каменным материалам завершается заполнением табл. 2.6, в которой отмечаются возможные и целесообразные области использования соответствующих горных пород в строительной практике.

Таблица 2.4

Характеристики важнейших осадочных горных пород

Наименование горной породы	Группа по условиям образования	Минеральный состав	Цвет (окраска)	Структура	Текстура	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, кГс/см ²	Долговечность
Песок								
Гравий								
Глина								
Брекчия								
Конгломерат								
Песчаник кремнистый								
Гипсовый ка- мень								
Известняк плотный								
Известняк ра- кушечник								
Доломит								

Таблица 2.5

Характеристики важнейших метаморфических горных пород

Наименование горной породы	Группа (тип)	Минеральный состав	Цвет (окраска)	Структура	Текстура	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, кГс/см ²	Долговечность
Гнейс								
Мрамор (черный, белый)								
Мрамор (пестрый)								
Кварцит								
Сланец глинистый								

Таблица 2.6

Применение природных каменных материалов в строительстве

[illegible]

Лабораторная работа 3

ИЗВЕСТЬ СТРОИТЕЛЬНАЯ ВОЗДУШНАЯ (состав, свойства, методы испытаний)

3.1. Общие сведения

Строительная воздушная известь относится к минеральным вяжущим, получаемым обжигом ниже температуры спекания ($900 - 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$) кальциево-магниевых карбонатных горных пород, состоящих преимущественно из оксида кальция (CaO).

К таким карбонатсодержащим породам относятся известняки плотные, ракушечники, доломитизированные известняки, мел, мрамор, известковый туф, содержащие в основном углекислый кальций (CaCO_3) и не более 6 % глинистых примесей. Чаще всего в качестве сырья для производства воздушной извести используются известняки и мел.

Различают следующие виды воздушной извести:

- *негашеная комовая известь кипелка*, состоящая в основном из оксида кальция (CaO);
- *негашеная молотая известь* того же состава;
- *гидратная известь (пушонка)* – тонкодисперсный порошок, получаемый гашением комовой извести определенным количеством воды, состоящий главным образом из гидрооксида кальция Ca(OH)_2 ;
- *известковое тесто* – тестообразный продукт, получаемый гашением комовой или молотой извести избыточным количеством воды и имеющий влажность около 50 %;
- *известковое молоко* – разбавленное водой тесто (суспензия), в котором Ca(OH)_2 находится как в растворенном, так и во взвешенном состоянии.

В зависимости от скорости гашения, сопровождаемого выделением тепла (экзотермическая реакция) и определенным увеличением объема, известь воздушная подразделяется на быстрогасящуюся (до 8 мин), среднегасящуюся (от 8 до 25 мин), медленногасящуюся (более 25 мин).

Признаком высокого качества извести служит относительное содержание в ней активных оксидов кальция и магния ($\text{CaO} + \text{MgO}$), а также наличие непогасившихся зерен – инертных включений (некарбонатные составляющие сырья, «недожог» и др.) и, что наиболее опасно, «пережога». Зерна «недожога» и инертных включений снижают активность извести, а медленногасящиеся с увеличением объема зерна «пережога» являются причиной образования «дутиков» и растрескивания нанесенных на поверхность стены штукатурных растворов. Именно поэтому при оценке качества извести предусматривается проведение испытаний извести на равномерность изменения объема при твердении.

ГОСТ 9179–77 предусматривает определенные требования по сортности, предъявляемые к воздушной строительной извести (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Технические требования к воздушной извести

Компоненты		Негашеная, % по массе						Гашеная, % по массе, сорт	
		Кальциевая, сорт			Магнезиальная и доломитовая, сорт				
		1	2	3	1	2	3	1	2
Активные CaO+MgO, не менее	Без доба- вок	90	80	70	85	75	65	67	60
	С добав- ками	65	55	-	60	50	-	50	40
Активный MgO, не бо- лее		5	5	5	20 (40)	20 (40)	20 (40)	-	-
CaO ₂ в со- ставе из- вести, не более	Без доба- вок	3	5	7	5	8	11	3	5
	С добав- ками	4	6	-	6	9	-	2	4
Непогасившиеся зерна, не более		7	11	14	10	15	20	-	-

Примечание. 1. В скобках указано содержание MgO в извести доломитовой.

2. Влажность гашеной извести не должна превышать 5 %.

Воздушная строительная негашеная известь находит широкое применение при приготовлении кладочных, штукатурных и отделочных строительных растворов, изготовлении штучных известково-шлаковых изделий, силикатного кирпича и других известково-песчаных изделий автоклавного твердения, эксплуатируемых в воздушно-сухой среде с относительной влажностью воздуха более 60 %.

Гидравлическая известь в основном используется для производства сухих строительных смесей (ССС), шпатлевок, побелок, замазок, известковых красок.

Методики определения свойств воздушной извести изложены в ГОСТ 22688-77 и используются при выполнении данной лабораторной работы.

3.2. Отбор и подготовка проб

Для проведения испытаний от каждой партии поставляемой извести отбирают пробу массой не менее 20 кг для комовой и 10 кг для гидратной извести. Пробу комовой извести отбирают примерно равными долями из десяти раз-

личных мест верхнего, среднего и нижнего слоев. Проба молотой извести, поступающей в мешках, отбирается по 2 кг от каждого из десяти мешков.

Подготовленные таким образом и смешанные пробы делят на две равные части, одну подвергают лабораторным исследованиям, а вторую помещают в герметически закрываемую емкость, опечатывают и хранят в течение 15 суток на случай проведения повторных контрольных испытаний.

Перед испытаниями пробу комовой извести измельчают до кусков размером не более 10 мм и методом квартования отбирают 1 кг для определения содержания непогасившихся зерен и 500 г – для проведения других испытаний.

Последнюю пробу измельчают до полного прохождения через сито № 09, тщательно перемешивают и очередным квартованием отбирают навеску массой 150 г, которую растирают до полного прохождения через сито № 008.

Подготовленную таким образом навеску помещают в герметически закрывающийся сосуд и хранят до проведения испытаний, предусмотренных методами, изложенными в ГОСТ 22688-77.

Взвешивание навесок для проведения соответствующих испытаний должно производиться на технических чашечных или квадрантных весах с погрешностью $\pm 0,01$ г.

3.3. Методы испытаний

3.3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ АКТИВНЫХ ОКСИДОВ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ ($\text{CaO}+\text{MgO}$)

Для проведения испытаний используются следующие приборы и реактивы: весы технические чашечные или квадрантные с погрешностью взвешивания до $\pm 0,01$ г, градуированная бюретка с краном и стеклянной воронкой, коническая колба емкостью 250 мл, фарфоровая ступка с пестиком, электроплитка, стеклянные бусы или оплавленные стеклянные палочки, часовое стекло, однонормальный раствор соляной кислоты, однопроцентный спиртовой раствор фенолфталеина (индикатор), дистиллированная вода.

Однонормальный раствор соляной кислоты получают, разбавляя до 1 литра дистиллированной водой 85 мл соляной кислоты плотностью 1,19.

Методика определения суммарного содержания в испытуемой известки-кипелке активных $\text{CaO}+\text{MgO}$ основана на прямом титровании водного раствора извести однонормальным раствором соляной кислоты (HCl) до тех пор, пока образовавшиеся в результате гидратации активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ щелочи $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ не будут полностью нейтрализованы кислотой.

Для этого навеску негашеной извести массой 4 – 5 г тщательно растирают в течение 5 мин в фарфоровой ступке, 1 г измельченной пробы засыпают в коническую колбу емкостью 250 мл и растворяют в 150 мл дистиллированной воды.

Для хорошего перемешивания полученного раствора в него засыпают 3 – 5 стеклянных бус или оплавленных стеклянных палочек, колбу закрывают ча-

совым стеклом и в таком виде содержимое колбы для ускорения и полной гидратации CaO и MgO нагревают в течение 5 – 7 мин, доводя до кипения на электроплитке.

Снятую с электроплитки колбу охлаждают до температуры 20 – 30 °С и добавляют в раствор 2 – 3 капли индикатора – 1 %-го спиртового раствора фенолфталеина, окрашивающего раствор в малиновый цвет. После этого колбу помещают под бюретку, заполненную до определенного уровня однонормальным раствором соляной кислоты, и при постоянном взбалтывании титруют раствор до полного обесцвечивания, добавляя в него по каплям раствор кислоты из бюретки. Титрование считается законченным, если в течение 8 мин при периодическом взбалтывании раствор остается бесцветным.

Содержание активных CaO + MgO (A) в % вычисляют по формуле:

$$A = \frac{V_{\text{HCl}} \cdot T_{\text{CaO}}}{m} 100 \%, \quad (3.1)$$

где V_{HCl} – объем однонормального раствора HCl, пошедшей на полное титрование, мл;

T_{CaO} – титр однонормального раствора HCl, выраженный в граммах CaO и равный 0,02804 г;

m – масса навески CaO, равная 1 г.

Результаты испытаний трех навесок извести заносятся в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Определение активности воздушной извести-кипелки

Показатель	Данные испытаний		
	1	2	3
Навеска извести, г			
Объем однонормального раствора HCl, пошедшей на титрование, мл			
Активность извести, %			
Сорт извести			

Окончательно сортность извести определяют по величине показателя, соответствующего низшему сорту, если по другим показателям она характеризуется разными сортами.

Для гидратной извести содержание активных CaO и MgO (A) вычисляют по формуле:

$$A = \frac{V_{\text{HCl}} \cdot T_{\text{CaO}}}{m(100 - W)} 100, \quad (3.2)$$

где W – влажность гидратной извести, %.

3.3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕПОГАСИВШИХСЯ ЗЕРЕН

Для установления данной качественной характеристики воздушной извести-кипелки необходимо иметь следующее оборудование: металлический сосуд емкостью 8 – 10 л; сито № 0,63; сушильный шкаф; весы технические чашечные или квадрантные с погрешностью взвешивания до $\pm 0,01$ г; стеклянную палочку с резиновым наконечником.

Раздробленную до кусков не более 10 мм комовую известь в количестве 1 кг всыпают в металлический сосуд, заполненный 3,5–4 л нагретой до температуры 85–90°C воды. Содержание сосуда непрерывно перемешивают до окончания интенсивного выделения пара (кипения) и полученное тесто выдерживают в течение 2 ч в закрытом крышкой сосуде.

Затем тесто разбавляют до консистенции известкового молока водой и, выливая порциями на сито с сеткой №063, промывают слабой непрерывной струей воды, слегка растирая при этом мягкие частицы извести стеклянной палочкой с резиновым наконечником. Оставшиеся после промывки непогасившиеся плотные зерна собирают и высушивают при температуре 140–150°C до постоянной массы.

Содержание непогасившихся зерен (НЗ) в % вычисляют по формуле:

$$НЗ = \frac{m}{1000} \cdot 100 \quad (3.3)$$

где m – остаток на сите после высушивания, г;

1000 – масса первоначальной пробы извести, г.

3.3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ГАШЕНИЯ ИЗВЕСТИ

Поскольку взаимодействие извести-кипелки с водой сопровождается интенсивным выделением теплоты (1160 кДж на 1 кг СаО), то характеристикой скорости гашения может служить время достижения смесью максимальной температуры.

Для проведения этого вида испытаний используют минитермос, состоящий из фарфорового стаканчика, в который помещается стеклянная коническая колба емкостью 250 мл с притертой пробкой и плотно вставленным в нее термометром, проградуированным на 100 °С. Зазор между двумя сосудами заполняют теплоизоляционным материалом – асбестом, вспученным перлитом и др., весы чашечные технические или квадрантные.

Массу пробы извести (m) в граммах для этого испытания рассчитывают по формуле:

$$m = \frac{1000}{A}, \quad (3.4)$$

где A – содержание активных СаО+МgО в извести, %.

Отвешенную с погрешностью не более 0,1 г пробу засыпают в колбу минитермоса и заливают ее 25 мл воды комнатной температуры (20 °С). Смесь быстро перемешивают деревянной палочкой, колбу закрывают пробкой с термометром, ртутный шарик которого должен быть полностью погружен в реагирующую смесь, и через каждую минуту с момента добавления воды в известь фиксируют температуру смеси.

Испытание заканчивают, если в течение 4 мин после последнего снятия показания термометра температура повышается не более чем на 1 °С. За *время гашения* принимают общее время с момента добавления воды к извести до начала периода, когда рост температуры не превышает 0,25 °С в минуту.

Одновременно с этим можно установить и скорость гашения извести, отнеся ее соответственно к быстро-, средне- или медленногасящейся (см. параграф 3.1). Данные испытаний заносят в табл. 3.3 и по ним строится график зависимости между температурой и скоростью (временем) гашения извести (рис. 3.1).

Таблица 3.3

Время гашения извести

Время, мин			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Показания термометра (t, °С)	№ опыта	1																
		2																
		3																

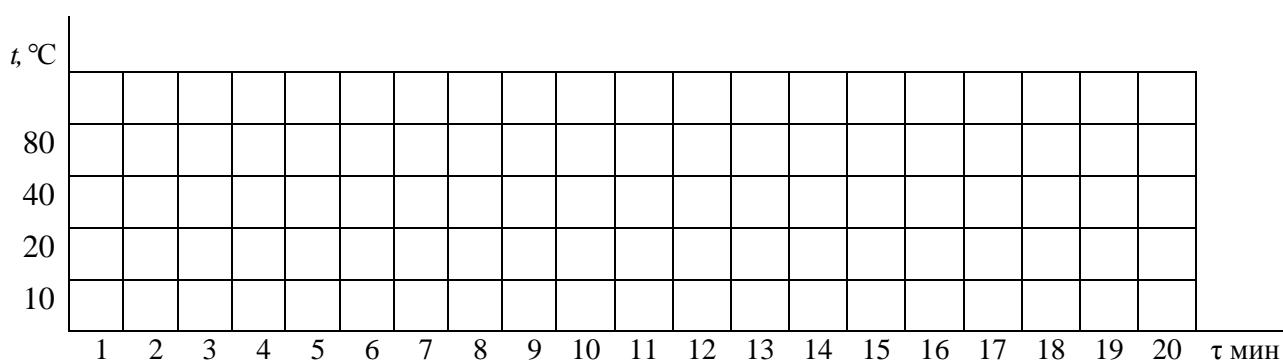


Рис. 3.1. Графическое определение времени гашения извести-кипелки

3.3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИСПЕРСНОСТИ ПОРОШКООБРАЗНОЙ ИЗВЕСТИ

Порошкообразную известь получают размолот или гашением (гидратацией) комовой извести. Поскольку степень дисперсности (тонкость измельчения) такой извести непосредственно связана с активностью ее взаимодействия с водой, то установление этого показателя предопределяет одну из важнейших технических характеристик вяжущего.

Для проведения данного испытания используют: прибор для механического просеивания (ситовой анализатор) с ситами № 02 и № 008, сушильный шкаф, весы технические чашечные или квадрантные с погрешностью взвешивания не более $\pm 0,1$ г.

Предварительно взвешенную при температуре 105 – 110 °С навеску порошкообразной извести массой 50 г просеивают через сита № 02 и № 008. В том случае, если при контрольном просеивании вручную в течение 1 мин через сита будет проходить не более 0,1 г извести, испытание считается законченным.

Степень дисперсности (СД) в % для каждого из контрольных сит вычисляют по формуле:

$$СД = \frac{m}{50} 100, \quad (3.5)$$

где m – остаток на соответствующем сите, г.

50 – первоначальная масса навески, г.

В том случае, если при просеивании извести через сита № 02 и № 008 проходило соответственно не менее 98,5 и 85 % пробы, ее степень дисперсности считается нормальной.

3.3.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА ИЗВЕСТИ ПРИ ТВЕРДЕНИИ

Для проведения испытаний используют следующее оборудование: прибор Вика с пестиком, пропарочный бачок, ванну с гидравлическим затвором, весы чашечные технические, электроплитку.

Навеску испытуемой извести массой 30 – 40 г затворяют водой до консистенции теста и после охлаждения до температуры 25 – 30 °С вводят в него 30–40 г цемента. Добавляя в известково-цементную смесь воду в процессе перемешивания, получают тесто нормальной густоты.

За нормальную густоту принимают такую консистенцию теста, при которой пестик прибора Вика, погруженный в тесто, заполняющее кольцо прибора, не доходит до его основания на 7 – 11 мм.

Полученное тесто делят на две равные части и из каждой из них готовят лепешки диаметром 6 – 7 см и толщиной 0,7 – 0,8 см.

В течение 24 ± 2 ч лепешки выдерживают на воздухе в ванне с гидравлическим затвором, а затем помещают на решетку пропарочного бачка, расположенную над уровнем залитой в бачок воды на расстоянии не менее 3 см.

Бачок закрывают крышкой, устанавливают на электроплитку и залитую в него воду доводят до кипения, которое поддерживают в течение 2 часов. Через 1 час после охлаждения производят внешний осмотр лепешек.

Известь считают выдержавшей испытания на равномерность изменения объема при твердении, если на поверхности лепешек отсутствуют радиальные доходящие до краев трещины или сетка мелких трещин, а также какие-либо искривления, увеличения объема или разрыхление структуры.

Лабораторная работа 4

ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ

4.1. Общие сведения

Гипсовые вяжущие представляют собой тонкоизмельченные продукты тепловой обработки естественных и искусственных разновидностей сульфата кальция, способных после затворения водой схватываться, твердеть и превращаться на воздухе в камневидное тело.

Сырьем для производства этих минеральных вяжущих являются природный двуводный гипс (гипсовый камень) – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, природный ангидрит – CaSO_4 , гипсосодержащие породы – глиногипс, гажа, ганг; различные отходы химической промышленности – фосфогипс, фторангидрит, борогипс, титаногипс. Содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в гипсовом камне предопределяет его сортность и должно составлять не менее: 95 % – для первого, 90 % – для второго, 80 % – для третьего и 70 % – для четвертого сортов.

В зависимости от температуры и способа тепловой обработки сырья гипсовые вяжущие подразделяются на *низкообжиговые*, получаемые при температуре обработки 110 – 180 °С, и *высокообжиговые* – при температуре 600 – 900 °С.

Низкообжиговые гипсовые вяжущие состоят в основном из быстротвердеющего *полуводного* сернокислого кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) двух модификаций – α - и β - полугидратов, *высокообжиговые* – из безводного медленнотвердеющего ангидрита (CaSO_4), который частично подвергается термической диссоциации с образованием CaO , играющим роль катализатора процесса твердения этого вяжущего.

Получаемый «обжигом» (нагревом) сырья в открытых, сообщающихся с атмосферой аппаратах – варочных котлах, сушильных барабанах и мельницах при температуре 110 – 180 °С *β -полугидрат* отличается высокой степенью диспергирования зерен, что обуславливает повышенную скорость гидратации (7 – 12 мин) этого вяжущего. Соответственно повышается и количество воды затворения (60 – 65 % от массы вяжущего) для получения теста заданной подвижности, что приводит к повышению пористости и снижению прочности затвердевшего гипса.

Тепловая обработка сырья при температуре 115 – 200 °С в герметически закрытых аппаратах (автоклавах) при повышенном давлении пара и выделением связанной воды в капельно-жидком состоянии, не вызывающем разрыхления зерен, приводит к образованию α -полугидрата.

В этом случае (по сравнению с β -полугидратом) до 17 – 20 мин снижается скорость гидратации и до 40 – 45 % от массы вяжущего содержание воды затворения для получения теста нормальной густоты (стандартной консистенции), что соответственно обуславливает повышение механических характеристик затвердевшего гипса.

Твердение гипсовых вяжущих сопровождается выделением тепла (примерно 122 кДж/кг полугидрата) и увеличением (на 0,2 – 0,8 %) объема, что позволяет изготавливать на их основе безусадочные формовочные массы, отличающиеся пониженным сцеплением с арматурой. Основными техническими характеристиками строительного гипса являются: тонкость помола вяжущего, сроки схватывания гипсового теста нормальной густоты и механические (марочные) характеристики затвердевшего гипса.

4.2. Отбор и подготовка проб для испытаний

Для проведения предусмотренных ГОСТ 23789-79 лабораторных исследований строительного гипса используют предварительно подготовленные усредненные пробы, которые отбирают от каждой партии вяжущего, подлежащего испытаниям.

Если гипс поставляется без упаковки (навалом), пробу отбирают равными частями в четырех местах каждой транспортной единицы. При поставке вяжущего в затаренном виде пробу массой от 1 до 1,5 кг отбирают из середины каждого мешка. Отобранные таким образом навески тщательно перемешивают и из них методом квартования отбирают для испытаний пробу массой от 5 до 7 кг, делят ее на две равные части, каждую из которых засыпают в закрытые емкости. Одну из этих проб подвергают стандартным испытаниям, а вторую хранят как арбитражную при температуре 20 ± 3 °С. Соответствующая температура при относительной влажности воздуха 65 ± 10 % должна сохраняться и в лаборатории, где проводят контрольные исследования.

4.3. Методы испытаний гипсовых вяжущих

Лабораторные испытания гипсовых вяжущих позволяют установить соответствие данного воздушного минерального вяжущего требованиям ГОСТ 125–95 и определить наиболее эффективную область его применения.

4.3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНКОСТИ ПОМОЛА

Тонкость помола гипсовых вяжущих оценивают по массе остатка на сите с ячейками размером 0,2 мм после просеивания через него взятой навески гипса.

Для проведения испытаний используют следующие приборы и оборудование: весы технические чашечные или квадрантные с погрешностью не более 0,005 г, сушильный шкаф, прибор для механического просеивания – ситовой анализатор, сито № 0,2.

Пробу гипсового вяжущего массой 120 – 150 г высушивают в течение 1 ч в сушильном шкафу при температуре 50 ± 5 °С. Из сухой пробы отбирают навеску массой 50 г с погрешностью, не превышающей 0,1 г, высыпая ее на сито и тщательно просеивают. Просеивание считается законченным, если в течение 1 мин через сито проходит не более 0,05 г гипса.

Тонкость помола (T) отдельной пробы определяют по формуле как выраженное в % отношение массы остатка на сите (m_1) к массе первоначальной (m) пробы с точностью не более 0,1 %:

$$T = \frac{m_1}{m} 100 = \frac{m_1}{50} 100. \quad (4.1)$$

За тонкость помола принимают среднее арифметическое значение (табл. 4.1) результатов испытаний двух проб.

Таблица 4.1

Определение тонкости помола гипса

Показатель		Размерность	№ пробы	
			1	2
Масса	пробы до испытаний	г	50	50
	остатка на сите 0,2 после просеивания	г		
Тонкость помола		%		
Среднее значение тонкости помола		%		

По результатам ситового анализа испытанный гипс с учетом требований ГОСТ 125–95 относят к вяжущим *грубого* (группа I), *среднего* (группа II) или *тонкого* (группа III) помола, если максимальные остатки на сите № 02 не превышают соответственно 23; 14; 2 %, и делают соответствующее заключение.

4.3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАНДАРТНОЙ КОНСИСТЕНЦИИ (НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ) ГИПСОВОГО ТЕСТА

Как избыток, так и недостаток воды затворения в тесте приводит к изменению его подвижности, сроков схватывания и механических характеристик затвердевшего гипсового вяжущего. Именно поэтому принято устанавливать ука-

занные свойства строительного гипса с использованием теста *нормальной густоты*, числовое отношение в котором находится в пределах 50 – 70 %.

Метод определения нормальной густоты теста основан на его способности растекаться под действием силы тяжести. Сущность метода количественной оценки стандартной консистенции состоит в установлении способом последовательных приближений (при разных расходах воды затворения) диаметра расплыва (180 ± 5 мм) гипсового теста, вытекающего из полого (без дна) цилиндра – вискозиметра Суттарда (рис. 4.1). Нормальная густота выражается в процентах как отношение массы воды, необходимой для получения теста соответствующей стандартной подвижности, к массе гипсового вяжущего.

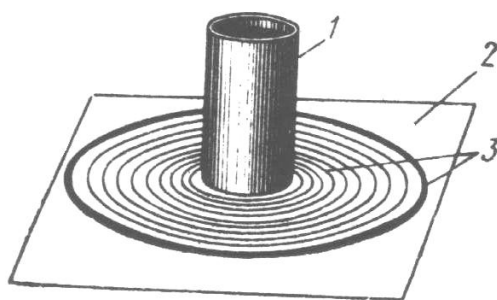


Рис. 4.1. Вискозиметр Суттарда

1 – цилиндр; 2 – стеклянная пластинка; 3 – concentric окружности

Для проведения испытаний используют следующие приборы и инструменты: ковш из нержавеющей металла емкостью более 500 см^3 с металлической мешалкой 4, вискозиметр Суттарда – полый цилиндр без дна высотой 100 мм внутренним диаметром 50 мм, полированный изнутри, секундомер, весы технические чашечные с погрешностью не более 1 г; стеклянный мерный цилиндр емкостью 0,5 л, металлическую линейку длиной 250 мм с ценой делений 1 мм; квадратную стеклянную пластину со стороной не менее 240 мм с бумажной подложкой, на которую наносят concentric окружности диаметром от 150 до 200 мм через каждые 10 мм и диаметром от 170 до 190 мм с интервалом 5 мм.

Перед началом испытаний внутренность ковша, цилиндра и поверхность стеклянной пластинки протирают влажной тканью. Цилиндр (вискозиметр Суттарда) устанавливают на стекло в центре concentric окружностей. Взвешивают 300 г гипса, стеклянным мерным цилиндром отмеряют 150 – 210 мл воды, заливают ее в ковш и, включая секундомер, засыпают в течение 2 – 5 с навеску гипса в воду, интенсивно перемешивая их совместно мешалкой в течение 30 с, начиная отсчет времени от момента всыпания гипса в воду.

После завершения перемешивания цилиндр, установленный в центре стеклянной пластинки, заполняют в течение 15 с до краев гипсовым тестом, излишки которого срезают металлической линейкой. Затем цилиндр быстро поднимают вверх на высоту 15 – 20 см и отводят в сторону, позволяя вытекающему гипсовому тесту легко расплываться в лепешку на стеклянной пластике. Диаметр расплыва теста устанавливают либо по concentric окружностям

бумажной подложки, либо измеряя его металлической линейкой в двух взаимно перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм. За окончательный результат принимается среднее арифметическое значение этих двух измерений.

Суммарное время от момента всыпания гипсового вяжущего в воду до поднятия цилиндра должно обязательно составлять 45 с. Поскольку водопотребность гипсовых вяжущих колеблется в достаточно широких пределах, то сразу добиться требуемого для нормальной густоты расплыва теста (180 ± 5 мм) не удастся. Поэтому при проведении этих испытаний в учебной лаборатории они выполняются тремя бригадами студентов, каждая из которых готовит и испытывает по приведенной методике гипсовое тесто с различным содержанием воды затворения. Если величина расплыва, соответствующая нормальной густоте, достигнута не будет, проводят дополнительное испытание, уточняя по результатам ранее проведенных опытов требуемое количество воды.

Результаты заносят в табл. 4.2 и делают соответствующее заключение по проведенным испытаниям.

Таблица 4.2

Определение нормальной густоты гипсового теста

Показатель	Размерность	№ опыта				
		1	2	3	4	5
Масса гипса	г	300	300	300	300	300
Количество воды затворения	мл					
Относительное содержание воды от массы гипса	%					
Диаметр расплыва гипсового теста	мм					
Нормальная густота теста	%					

Полученное в результате экспериментов значение стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста используется при определении вида гипса по срокам схватывания и изготовлении образцов, испытаниями которых устанавливаются сроки схватывания и марка данного вяжущего.

4.3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ГИПСОВОГО ТЕСТА СТАНДАРТНОЙ КОНСИСТЕНЦИИ

Отличительной особенностью гипсовых вяжущих является их быстрое схватывание, что вызывает определенные затруднения при проведении строительных работ, изготовлении различных гипсобетонных изделий и требует введения в формовочные смеси разнообразный добавок – замедлителей схватывания. Методикой определения сроков схватывания предусматривается установ-

ление времени (мин) от момента затворения гипса водой до начала и конца схватывания гипсового теста стандартной консистенции.

Для проведения испытаний используются следующие приборы и оборудование: прибор Вика (рис. 4.2) с массой подвижного стержня (вместе с пестиком и иглой диаметром $1,1 \pm 0,2$ мм) 300 ± 2 г, коническое кольцо из коррозионно-стойкого металла (рис. 4.3), металлический ковш из нержавеющей металла с мешалкой, весы технические чашечные или квадрантные с погрешностью взвешивания не более 1 г, стеклянный мерный цилиндр емкостью 0,5 л, секундомер, стеклянная пластинка размером 100×100 мм, металлическая линейка.

Навеску гипсового вяжущего массой 300 г всыпают в ковш, заполненный водой в количестве, соответствующем тесту стандартной консистенции, одновременно включают секундомер и засыпают гипс в воду, интенсивно перемешивая их мешалкой в течение 1 мин. Приготовленное тесто заливают в смазанное изнутри машинным маслом коническое кольцо, установленное на стеклянную пластинку. Чтобы удалить попавший в тесто воздух, кольцо с пластинкой 5 – 6 раз встряхивают, поднимая и опуская одну из сторон пластинки на 10 – 15 мм.

После этого стальной линейкой срезают излишек теста, заглаживают его поверхность и пластинку с кольцом устанавливают под иглу прибора Вика. Придерживая стержень прибора, отпускают стопорный винт и, подводя иглу до соприкосновения с поверхностью теста, фиксируют одновременно по шкале прибора начальное положение стержня стопорным винтом. После этого стопор отпускают и игла под действием силы тяжести стержня прибора погружается в тесто. Такие погружения производят с интервалом 30 с, начиная с одной минуты после водозатворения гипса. После каждого погружения иглу тщательно протирают, а пластинку с кольцом передвигают так, чтобы при очередном опускании игла попадала в новое место поверхности теста.

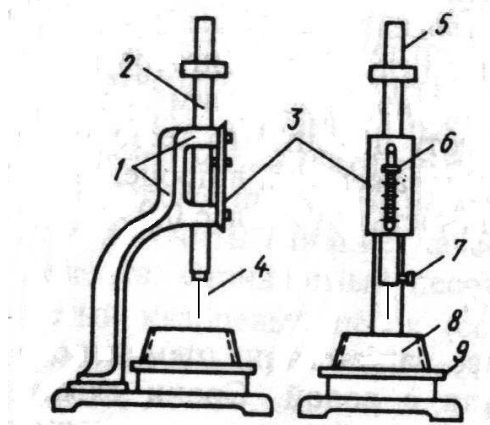


Рис. 4.2. Прибор Вика:

1 – станина; 2 – стержень; 3 – шкала; 4 – игла; 5 – пестик;
6 – указатель; 7 – винт; 8 – кольцо; 9 – стеклянная пластинка

Глубину погружения иглы фиксируют по показаниям (мм) стрелки шкалы прибора Вика и их значения заносят в табл. 4.3.

За *начало схватывания* гипсового теста принимают промежуток времени (мин) от момента водозатворения гипса до момента, когда игла при погружении при очередном погружении в тесто не дойдет до поверхности пластинки не более чем на 1 мм. *Конец схватывания* определяется временем от начала затворения гипса водой до момента, когда при очередном погружении в тесто игла погрузится в него на глубину не более 1 мм.

По результатам испытаний гипс относят к одной из следующих групп:

А – *быстротвердеющий*, начало схватывания не ранее 2 мин, конец схватывания не позднее 15 мин;

Б – *нормальнотвердеющий*, начало схватывания не ранее 6 мин, конец схватывания не позднее 30 мин;

В – *медленнотвердеющий*, начало схватывания не ранее 20 мин, конец схватывания – не нормируется.

Таблица 4.3

Определение сроков схватывания гипсового теста нормальной густоты

Показатель	Размерность	Данные испытаний																		
Время с момента затворения гипса водой	мин	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
		10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5
Глубина погружения иглы в тесто	мм																			
Начало схватывания	мин																			
Конец схватывания	мин																			

4.3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА

Марку (по прочности) строительного гипса устанавливают испытаниями изготовленных из теста нормальной густоты стандартных образцов-балочек размером 40×40×160 мм по истечении 2 ч с момента затворения гипсового вяжущего водой. Серию из 3 образцов, отформованных из одного замеса, испытывают на изгиб, а образовавшиеся при этом половинки – на сжатие.

Для проведения испытаний используется следующее оборудование, приборы и инструменты: пресс гидравлический мощностью 10 т, машина для испытания на изгиб МИИ-100, весы технические чашечные с погрешностью не более 1 г, металлическая разъемная форма на три образца с насадкой, две металлические пластинки размером 6,25×4 см (25 см²), металлическая чаша с мешалкой ручной, литровый мерный стеклянный цилиндр, металлическая линейка длиной 250 мм, секундомер.

Для изготовления гипсового теста отвешивают 1000 г гипса, в протертую влажной тканью чашу заливают отмеренную мерным цилиндром воду, количество которой соответствует нормальной густоте теста, и в нее в течение 5 – 20 с засыпают приготовленную навеску гипсового вяжущего.

После этого смесь подвергают интенсивному перемешиванию в течение 60 с и полученное тесто равномерно заливают в собранную и смазанную изнутри машинным маслом форму с насадкой. Для удаления вовлеченного воздуха заполненную тестом форму несколько раз встряхивают, поднимая и опуская ее торцовую часть на 8 – 10 мм.

После наступления начала схватывания излишки гипсового теста срезают стальной линейкой, передвигая ее от центра к краям формы перпендикулярно длине образцов. Спустя 15 ± 5 мин после конца схватывания образцы извлекают из формы, маркируют и хранят в помещении до момента испытания. По истечении 2 ч после начала перемешивания теста образцы испытывают на растяжение при изгибе и сжатие.

Для испытаний на изгиб используют машину МИИ-100, особенностью которой является возможность определять значения предела прочности при изгибе с точностью до 0,1 кгс/см² по счетчику без дополнительных расчетов. Образцы-балочки устанавливают на опоры машины так, чтобы механические нагрузки прикладывались к ним в направлении, параллельном плоскости укладки гипсового теста в форму. Результаты испытаний заносят в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Предел прочности при изгибе образцов-балочек

Показатель	Размерность	Данные испытаний		
		Номер образца		
		1	2	3
Предел прочности при изгибе $R_{изг}$	кгс/см ²			
Средний предел прочности $R_{ср}$	кгс/см ²			

Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое из двух максимальных результатов испытаний трех образцов.

Половинки балочек (6 штук), получившихся после испытания на изгиб, используют для определения предела прочности при сжатии. Перед испытаниями каждый из образцов помещают между двумя стальными пластинками, каждая площадью 25 см², таким образом, чтобы боковые грани, прилегавшие

при изготовлении балочек к продольным стенкам форм, контактировали с рабочими плоскостями пластинок, а их упоры плотно прилегали к гладким торцовым поверхностям образцов. Образец вместе с пластинками устанавливают точно по центру на нижнюю плиту гидравлического пресса и подвергают сжатию со средней скоростью нарастания нагрузки 10 ± 5 кгс/см² в с. Общее время от начала равномерного нагружения образца до его разрушения должно составлять от 5 до 30 с.

Предел прочности при сжатии ($R_{сж}$) отдельного образца рассчитывается по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P_{max}}{S} = \frac{P_{max}}{25}, \text{ кгс/см}^2, \quad (4.2)$$

где P_{max} – разрушающая нагрузка, кгс;
 S – рабочая площадь пластинки, см².

Результаты испытания 6 образцов заносят в табл. 4.5 и предел прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое из четырех результатов, не учитывая максимальный и минимальный результаты.

Таблица 4.5

Предел прочности при сжатии половинок образцов-балочек

Показатель	Размерность	Данные испытаний образцов					
		1	2	3	4	5	6
Разрушающая нагрузка $P_{...}$	кГс						
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$	кГс/см ²						
Средний предел прочности при сжатии $R_{ср}$	кГс/см ²						

Установленные испытаниями прочностные характеристики сравнивают с одним из наименьших значений ($R_{сж}$ или $R_{изг}$) марочных показателей, предъявляемым ГОСТ 125-95 к гипсовым вяжущим (табл. 4.6) и делают окончательное заключение о марке строительного гипса и (табл. 4.7) возможных областях его применения.

Таблица 4.6

Марки гипсовых вяжущих

Марка вяжущего	Предел прочности образцов-балочек в возрасте 2 ч, не менее МПа, кгс/см ²	
	При сжатии	При изгибе
1	2	3
Г-2	2 (20)	1,2 (12)
Г-3	3 (30)	1,8 (18)

Г-4	4 (40)	2,0 (20)
Г-5	5 (50)	2,5 (25)
Г-6	6 (60)	3,0 (30)
Г-7	7 (70)	3,5 (35)
Г-10	10 (100)	4,5 (45)
Г-13	13 (130)	5,5 (55)
Г-16	16 (160)	6,0 (60)
Г-19	19 (190)	6,5 (65)
Г-22	22 (220)	7,0 (70)
Г-25	25 (250)	8,0 (80)

Область применения гипсовых вяжущих устанавливается по совокупности показателей тонкости помола, сроков схватывания и марки строительного гипса.

Таблица 4.7

Области применения гипсовых вяжущих

Области применения гипсовых вяжущих	Рекомендуемые марки и виды
Изготовление гипсовых строительных изделий	Г-2...Г-7, всех сроков схватывания и степеней помола
Изготовление тонкостенных изделий и декоративных деталей	Г-2...Г-7, быстро и нормальноотвердеющих, среднего и тонкого помола.
Производство штукатурных работ Заделка швов и для специальных целей	Г-2...Г-25, нормально и медленноотвердеющих, среднего и тонкого помола
Изготовление форм и моделей в фарфоровой, керамической, машиностроительной и других отраслях промышленности и медицине	Г-5...Г-25, нормального твердения, тонкого помола
Для медицинских целей	Г-2...Г-7, быстро и нормальноотвердеющих, среднего и тонкого помола

Окончательное заключение о технических характеристиках гипсовых вяжущих дается в виде соответствующей аббревиатуры – начальных элементов словосочетания. Например, аббревиатура Г-10 БП означает, что это гипсовое вяжущее имеющее прочность при сжатии не менее 10 МПа, нормальноотвердеющее (Б), среднего помола (П).

Лабораторная работа 5

ЦЕМЕНТ (свойства, методы испытаний)

5.1. Общие сведения

Цементом называется порошкообразный строительный вяжущий материал, обладающий гидравлическими свойствами – способностью твердеть и длительно сохранять прочность как на воздухе, так и в воде. Он состоит из клинкера или его производных и добавок. Согласно классификации, принятой ГОСТ 30515-97, цементы подразделяются по следующим признакам:

- *по назначению* – на *общестроительные*, используемые в изготовлении растворов и бетонов, и *специальные*, к которым предъявляются специальные требования;
- *по виду клинкера* – на основе *портландцементного* клинкера и *глиноземистого* клинкера.

Нами рассматриваются цементы на основе портландцементного клинкера, к которым относятся портландцемент без добавок и с минеральными добавками (ПЦ), шлакопортландцемент (ШПЦ), пуццолановый портландцемент (ППЦ). Они могут быть нормально- и быстротвердеющими.

Портландцемент без добавок (ДО) – гидравлическое вяжущее, продукт тонкого измельчения клинкера совместно с гипсом (3 – 5 %). В клинкере, получаемом обжигом до спекания сырьевой смеси определенного состава, должно содержаться до 70 – 80 % силикатов кальция.

Портландцемент с минеральными добавками (Д5; Д20) – гидравлическое вяжущее, продукт тонкого измельчения клинкера с гипсом и активными минеральными добавками осадочного происхождения до 10 % или доменных гранулированных или электрофосфорных шлаков, глиежей (горелых пород) и других активных минеральных добавок до 20 %.

Шлакопортландцемент – гидравлическое вяжущее, продукт совместного тонкого измельчения клинкера, гипса и гранулированного доменного шлака в количестве 21 – 80 %.

Пуццолановый портландцемент – гидравлическое вяжущее, продукт совместного тонкого измельчения клинкера, гипса и активных минеральных добавок (пемзы, туфы, вулканические пеплы, трасы, обожженные глины, диатомиты, трепелы, опоки и др.) в количестве 20 – 40 %.

Качество цемента зависит от химико-минералогического состава клинкера – продукта обжига до спекания тонкодисперсной однородной смеси определенного состава с преобладанием в ней силикатов кальция.

Химический состав клинкера характеризуется содержанием в нем различных оксидов (CaO – 63...67 %; SiO_2 – 21...25 %; Al_2O_3 – 4...8 %; Fe_2O_3 – 2...4 %), а *минералогический* – количественным содержанием *клинкерных минералов*, образующихся в процессе обжига сырьевой смеси ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ – алит – 45

– 60 %; 2CaO SiO_2 – белит – 20 – 30 %; $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$ – алюмоферрит – 10 – 18 %).

Важнейшим показателем качества цемента является его *активность* – показатель предела прочности при сжатии стандартных образцов, изготовленных из цементно-песчаного раствора нормальной густоты, в «возрасте» 28 суток влажного твердения. Величина активности, округленная до нижнего предела с учетом предела прочности при изгибе, называется *маркой* цемента.

Портландцемент и его разновидности представлены следующими марками:

- портландцемент без добавок (ДО), с минеральными добавками (Д5 и 20) и шлакопортландцемент – 300, 400, 500, 550 и 600;
- пуццолановый портландцемент – 300 и 400.

Стандартные испытания цементов, проводимые в соответствии ГОСТ 310 – 81, включают в себя: определение истинной и насыпной плотности, тонкости помола, нормальной густоты цементного теста и цементно-песчаного раствора, используемого для изготовления образцов-балочек, сроков схватывания цементного теста и равномерности изменения объема цемента при твердении, предела прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек с целью установления марки цемента.

5.2. Отбор проб и общие требования при испытании

В соответствии с требованиями ГОСТ 30515 – 97 для лабораторных испытаний цемента от каждой партии вяжущего отбирают объединенную пробу массой не менее 20 кг, составленную не менее чем из пяти частных (точечных) проб, которые тщательно перемешивают вручную или механическим способом. После этого объединенную пробу разделяют на две лабораторные массой около 8 кг каждая. Одну из них подвергают испытаниям, а другую маркируют и хранят в плотно закрытой таре в сухом помещении в течение гарантийного срока на случай повторных испытаний.

Перед испытаниями цемент, песок и воду выдерживают до тех пор, пока их температура станет равной температуре помещения лаборатории. взвешивание цемента и песка производится с погрешностью не более 1 г, а воду отмеряют мерным цилиндром с точностью не превышающей 0,5 см³. Для изготовления образцов, подвергающихся механическим испытаниям, используется стандартный (ГОСТ 6139 – 78) кварцевый песок с нормированным зерновым и химическим составом.

5.3. Методы испытаний цемента

Лабораторные испытания цементов, на основании которых даются заключения об их виде и качестве, проводятся с использованием соответствующего оборудования и инструментов, предусмотренных ГОСТ 310 – 81.

5.3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ (ρ_n) ЦЕМЕНТА

Истинной плотностью называется масса единицы объема цемента в абсолютно плотном состоянии. Для ее определения используется следующее лабораторное оборудование и приборы: колба Ле Шателье – Кандло или пикнометр, весы технические чашечные или квадрантные с погрешностью взвешивания не более 0,01 г, сушильный шкаф, эксикатор, фарфоровый стаканчик со стеклянной палочкой.

Навеску цемента массой около 70 г, засыпанную в фарфоровый стаканчик со стеклянной палочкой, предварительно выдерживается в течение 2 ч в сушильном шкафу при температуре 105 – 110 °С, а потом охлаждают и взвешивают вместе со стаканчиком и палочкой на технических или квадрантных весах с погрешностью не более 0,01 г.

Колба Ле Шателье – Кандло емкостью 120 – 150 см³ (рис. 5.1), на узком горле которой нанесены две метки, объем между которыми соответствует 20 см³, заполняется обезвоженным керосином до нижнего уровня градуированного объемомера (по нижнему мениску). Подготовленную навеску цемента небольшими порциями всыпают через воронку в колбу до тех пор, пока жидкость не поднимется до верхнего уровня шкалы, соответствующего 20 см³. Для удаления пузырьков воздуха из прибора его периодически встряхивают. Остаток порошка вместе с тарой и палочкой снова взвешивают и вычисляют истинную плотность цемента с погрешностью не более 0,1 г/см³:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (5.1)$$

где m_1 – первоначальная масса пробы со стаканчиком и палочкой, г;
 m_2 – масса остатка порошка со стаканчиком и палочкой, г;
 V – объем пробы цемента, всыпанной в колбу, см³.

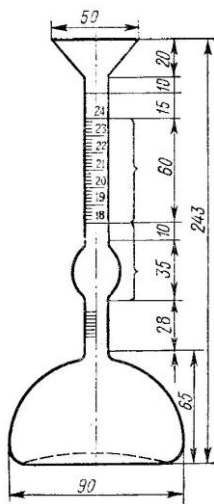


Рис. 5.1. Колба Ле Шателье

За истинную плотность принимают вычисленное с погрешностью не более 0,1 г/см³ среднее арифметическое результатов двух измерений, расхождение между которыми должно быть не более 0,02 г/см³.

Результаты испытаний заносят в табл. 5.1.

Таблица 5. 1

Определение истинной плотности цемента

Показатель	Размерность	Наименование материала	
		Номер пробы	
		1	2
Масса пробы с тарой и палочкой до всыпания в колбу (m_1)	г		
Масса пробы с тарой и палочкой после всыпания в колбу (m_2)	г		
Объем цемента, всыпанного в колбу (V)	см ³		
Истинная плотность цемента (ρ_u)	г/см ³		
Среднее значение истинной плотности цемента (ρ_u)	г/см ³		

В соответствии с нормативными требованиями истинная плотность портландцемента соответствует 3,05 – 3,15 г/см³.

5.3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ (ρ_n)

Насыпная плотность характеризуется массой единицы объема цемента в рыхлонасыпном состоянии. Для ее определения используется следующее оборудование и инструменты: стандартная конусообразная металлическая воронка, весы технические или торговые с погрешностью взвешивания до 100 мг, металлический сосуд емкостью 1 л, металлический поддон и линейка.

Предварительно взвешенный мерный сосуд устанавливают на поддон под закрытую задвижку выходную трубку воронки так, чтобы расстояние между верхним срезом сосуда и задвижкой равнялось 5 см (рис. 2).

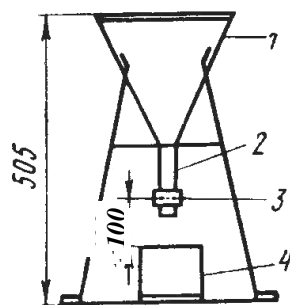


Рис. 5.2 Стандартная воронка,

1 – воронка, 2 – трубка, 3 – задвижка, 4 – мерный сосуд

После этого пробу цемента массой около 1,5 кг засыпают в воронку, открывают задвижку и заполняют мерный сосуд с некоторым избытком. Задвижку закрывают и избыток цемента осторожно (без толчков) срезают металлической линейкой от середины к краям сосуда. Затем сосуд с цементом взвешивают и, вычитая из полученного результата массу сосуда, устанавливают массу цемента.

Зная объем мерного сосуда вычисляют насыпную плотность:

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (5.2)$$

где m_1 – масса пустого сосуда, г;
 m_2 – масса сосуда с цементом, г;
 V – объем сосуда, см³.

Окончательное значение насыпной плотности определяют округлением до 10 кг/м³ как среднеарифметическое из двух полученных значений.

Результаты испытаний заносят в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Определение насыпной плотности цемента

Показатель		Размерность	Данные испытаний	
			1	2
Масса	мерного сосуда (m_1)	г		
	мерного сосуда с цементом (m_2)	г		
Объем мерного сосуда (V)		см ³		
Насыпная плотность (ρ_n)		кг/м ³		
Среднее значение насыпной плотности (ρ_n^{cp})		кг/м ³		

В соответствии с нормативными требованиями насыпная плотность ПЦ=100 – 1220 кг/м³.

5.3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНКОСТИ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА

Тонкость помола определяют ситовым анализом (ГОСТ 310.2-81) по величине остатка навески цемента на контрольном сите № 008 после ее просеивания, который должен быть не выше 15 %. Работа выполняется с использованием следующего оборудования: прибора для механического просеивания; сушильного шкафа; технических чашечных или квадрантных весов с погрешностью взвешивания не более 0,01 г, эксикатора, сита № 008.

Пробу цемента массой 150 г высушивают в сушильном шкафу при температуре (105÷110) °С в течение 2 ч, после чего охлаждают в эксикаторе. От высушенной пробы отбирают с погрешностью не более 0,01 г навеску массой 50 г и высыпают ее на сито с сеткой 008. Закрыв сито крышкой, устанавливают его в прибор для механического просеивания и в течение 5 – 7 мин просеивают взятую навеску цемента. После остановки прибора остаток на сите взвешивают и в течение 1 мин производят его дополнительное контрольное просеивание вручную.

Просеивание считают законченным, если в течение 1 мин через сито проходит не более 0,05 г остатка пробы.

Тонкость помола цемента ($ТП$) вычисляют с погрешностью не более 0,1 %:

$$ТП = \frac{m}{50} 100, \quad (5.3)$$

где m – масса остатка на сите 008 после контрольного просеивания (г).

Результаты испытаний заносят в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Определение тонкости помола цемента

Показатель	Размерность	Данные испытаний	
		1	2
Масса пробы (m_I)	г		
Масса остатка на сите 008 (m)	г		
Тонкость помола	%		
Среднее значение тонкости помола	%		

5.3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Нормальная густота теста характеризуется водоцементным отношением (B/C), при котором достигается его стандартная консистенция. Ее оценивают по глубине погружения в цементное тесто подвижного массой 300 ± 2 г стержня прибора Вика с пестиком диаметром 10 мм.

Для проведения испытаний используют следующие приборы и оборудование: прибор Вика с пестиком, иглой, коническим кольцом и стеклянной пластинкой, сферическую металлическую чашу с лопаткой для перемешивания, стеклянный мерный цилиндр емкостью 0,5 л, весы торговые циферблатные с пределом взвешивания 1000 г, стальной шпатель.

Поскольку сразу установить количество воды, необходимое для получения теста стандартной консистенции, не представляется возможным, работу выполняют тремя бригадами, каждая из которых приготавливает и испытывает цементное тесто с различным содержанием воды.

Для этого отвешивают 400 г цемента, всыпают в предварительно протертую влажной тканью сферическую чашу, делают в цементной навеске углубление, в которое в один прием заливают воду в количестве, принятом каждой из бригад.

Обычно для первого пробного замеса берут от 24 до 28 % воды от массы цемента, т.е. 96 – 112 см³. Воду отмеряют с погрешностью 0,5 мл. Через 30 с после водозатворения смесь сначала осторожно, а потом интенсивно перемешивают лопаткой в течение 5 мин.

Готовое цементное тесто в один прием укладывают в кольцо прибора Вика, установленное на стеклянной пластике, и 5 – 6 раз встряхивают его, постукивая пластинку о поверхность стола. Избыток теста срезают увлажненным стальным шпателем, кольцо с пластинкой устанавливают под стержень прибора Вика и пестик подводят до соприкосновения с поверхностью теста в центре кольца. В таком положении стержень закрепляют стопорным винтом, фиксируют его первоначальное положение, после чего, отпуская стопор, свободно погружают стержень с пестиком в тесто.

Через 30 с после начала погружения производят по шкале прибора отсчет глубины погружения пестика. За нормальную густоту теста принимают такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика не доходит до стеклянной пластинки на 5 – 7 мм. Если пестик погружается в тесто на большую или меньшую по сравнению с нормальной глубину, приготавливают новые замесы с измененным содержанием воды затворения и проводят необходимые испытания.

Количество воды, соответствующее получению теста нормальной густоты, выраженное в процентах от массы цемента, определяют с погрешностью не более 0,25 %. Данные испытаний заносят в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Определение нормальной густоты цементного теста

Показатель	Размерность	Данные испытаний		
		1	2	3
Масса пробы цемента	г			
Количество воды затворения	мл			
	%			
Глубина погружения пестика	мм			
Нормальная густота теста	%			

Состав теста нормальной (стандартной) консистенции определяют с целью проведения испытания цемента на сроки схватывания и равномерность изменения объема при твердении.

5.3.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТА

Скорость схватывания является важнейшим техническим свойством портландцемента и всех его разновидностей, определяющим жизнеспособность изготавливаемых на его основе растворных и бетонных смесей. На этот показатель оказывает влияние ряд факторов: повышение температуры *ускоряет*, а понижение – *замедляет* схватывание вяжущего. Схватывание *ускоряется* также с повышением тонкости помола и уменьшением содержания воды в цементном тесте. Учитывая эти обстоятельства, сроки схватывания (начало и конец) определяют на цементном тесте нормальной густоты с помощью прибора Вика, на конце подвижного стержня которого вместо пестика закрепляют иглу длиной 50 мм и диаметром 1,1 мм, а пестик устанавливают на место иглы, сохраняя, таким образом, массу стержня 300 ± 2 г.

Кроме прибора Вика с приданным к нему конусообразным кольцом, установленным на стеклянной пластинке, для проведения испытаний используют металлическую сферическую чашу с лопаткой для приготовления теста, стеклянный мерный цилиндр емкостью 0,5 л, торговые циферблатные весы с пределом взвешивания 1000 г, стальной шпатель, часы.

Перед началом испытаний проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика и его нулевое показание.

Цементное тесто готовят из 400 г цемента и воды, взятой в количестве, соответствующем нормальной густоте. Готовое тесто в один прием укладывают в установленное на стеклянную пластинку кольцо прибора Вика и 5 – 6 раз встряхивают его для удаления из смеси воздуха. Избыток теста срезают увлажненным стальным шпателем, кольцо с пластинкой устанавливают под стержень прибора и подводят иглу до соприкосновения с поверхностью теста в центре кольца. В таком положении стержень закрепляют стопорным винтом, фиксируют по шкале прибора его первоначальное положение, после чего, отпуская стопор, свободно погружают стержень с иглой в тесто.

До начала схватывания иглу погружают в тесто каждые 5 мин, передвигая кольцо так, чтобы при очередном погружении игла не попадала в прежнее место. После начала схватывания погружение иглы производят через каждые 15 мин до момента конца схватывания. Иглу после очередного погружения в тесто протирают мягкой тканью.

За *начало схватывания* цементного теста принимают суммарное время от начала затворения цемента водой до того момента, когда игла прибора не доходит до пластинки кольца на 1 – 2 мм. *Концом схватывания* считают время от начала затворения цементного теста до момента, когда игла при очередном погружении опускается в тесто не более чем на 1 – 2 мм.

В соответствии с требованиями ГОСТ 10178-85 *начало схватывания* цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец – *не позднее* 10 ч от начала его затворения водой.

Как слишком быстрое, так и замедленное схватывание является существенными недостатками цемента при его использовании в строительных целях.

5.3.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА ЦЕМЕНТА ПРИ ТВЕРДЕНИИ

Процесс твердения цементного теста сопровождается различными по виду и величине изменениями его объема. Это связано как с деформациями *усадки*, так и, что наиболее опасно, с местным *увеличением объема* твердеющей системы, величина которого непосредственно зависит от особенностей вещественного состава цементного клинкера. В последнем случае они особенно значительны, если в клинкере содержится избыточное количество (более 1 %) свободного оксида кальция (CaO) и более 5 % оксида магния (MgO), которые в процессе гашения увеличиваются в объеме и вызывают необратимые деформации и растрескивание цементного камня.

В связи с этим цементы проверяют в лаборатории на равномерность изменения объема при твердении, используя для этого ускоренный метод кипячения в воде изготовленных из цементного теста образцов-лепешек, интенсифицируя при этом как гашение CaO и MgO, так и сами испытания.

Для проведения испытаний используется следующее оборудование: ванна с гидравлическим затвором, пропарочный бачок, стальной шпатель, сферическая чаша с лопаткой для перемешивания, весы торговые циферблатные, мерный стеклянный цилиндр, стеклянные пластинки, электроплитка, часы.

Из 150 г цемента готовят тесто нормальной густоты, отбирают из него две 75-граммовые навески и формуют из них вручную шарики. Эти шарики помещают на стеклянные пластинки, предварительно смазанные машинным маслом, и, постукивая пластинки о поверхность стола, превращают шарики в лепешки. Лепешки диаметром 7 – 8 см и толщиной в середине около 1 см с поверхности заглаживают от наружных краев к центру увлажненным стальным шпателем до образования острых кромок и гладкой закругленной поверхности.

Изготовленные таким образом цементные лепешки помещают на подставку ванны с гидравлическим затвором (рис. 5.3), которая установлена над водой, закрывают крышку ванны и в таком положении лепешки хранят в течение 28 ± 2 ч с момента их изготовления. После этого изымают из ванны, снимают с пластинок и помещают на решетку заполненного водой пропарочного бачка (рис. 5.4). Бачок устанавливают на электроплитку и залитую в него воду в течение 30 – 45 мин доводят до кипения. Кипячение продолжается в течение 3 ч, после чего лепешки в бачке охлаждают, извлекают из воды и проводят их внешний осмотр. Цемент считается соответствующим требованиям ГОСТ 310.3 – 81, если на лицевой поверхности лепешек отсутствуют идущие от кромок к центру радиальные трещины или нет явно выраженных искривлений и увеличений объема этих лепешек (рис. 5.5). У лепешек, выдержавших подобные испытания на равномерность изменения объема, указанные дефекты либо отсутствуют, либо в их центральной части могут появиться трещины усадки.

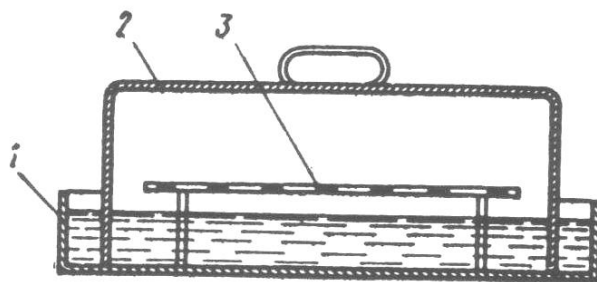


Рис. 5.3. Ванна с гидравлическим затвором: 1 – ванна, 2 – герметичная крышка, 3 – столик

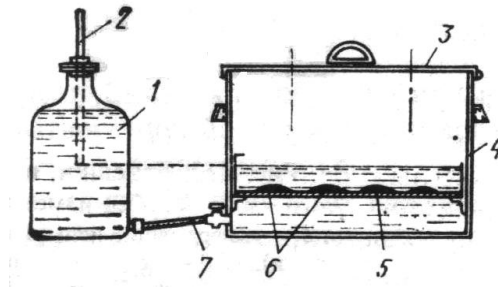


Рис 5.4. Бачок для испытания кипячением: 1 – регулятор уровня воды; 2 – трубка; 3 – крышка; 4 – бачок; 5 – решетка; 6 – лепешки из цементного теста; 7 – шланг

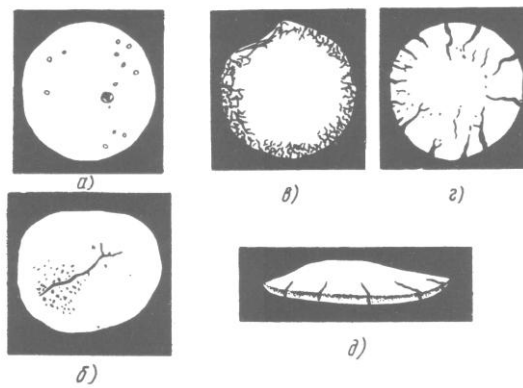


Рис. 5.5. Лепешки, испытанные на равномерность изменения объема: а, б – выдержавшие испытания (а – дефектов нет, б – трещины усадки), в...д – не выдержавшие испытания (в – разрушение, г – радиальные трещины, д – искривление)

5.3.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ (АКТИВНОСТИ) ЦЕМЕНТА

Механические свойства цемента оцениваются его *активностью*, т.е. показателем предела прочности при осевом сжатии половинок образцов-балочек размером $4 \times 4 \times 16$ см, изготовленных из цементно-песчаного раствора нормальной консистенции состава 1:3 по массе и испытанных после необходимого срока твердения (для портландцемента, шлакопортландцемента и пуццоланового цемента – 28 суток, для быстротвердеющего портландцемента 3 и 28 суток).

Величина активности, округленная до нижнего предела и с учетом предела прочности при изгибе, положена в основу подразделения цементов на *марки*. Поскольку стандартные образцы должны формироваться из цементно-песчаного раствора нормальной консистенции, то исследования с целью определения марки цемента подразделяются на следующие этапы: установление нормальной консистенции приготовленной в лаборатории формовочной смеси, изготовление образцов-балочек, испытание этих образцов в установленные стандартом сроки твердения.

Приготовление цементно-песчаного раствора нормальной консистенции

Для изготовления формовочной смеси используются: механическая мешалка или сферическая чаша с лопаткой для перемешивания, весы торговые циферблатные с пределом взвешивания 1000 г, встряхивающий столик с конусообразной полый формой и штыковкой, металлическая линейка и шпатель, стеклянный мерный цилиндр емкостью 0,5 л.

Цементно-песчаный раствор состава 1:3 (по массе) изготавливают совместным смешиванием с водой 200 г цемента и 600 г стандартного песка Привольского месторождения, содержащего не менее 98 % кварцевых зерен, размером 0,5 – 0,9 мм.

В мешалку или (при ручном изготовлении) сферическую чашу, предварительно протертую влажной тканью, всыпают сначала песок, потом цемент, которые в течение 1 мин лопаткой тщательно перемешивают, и в полученную сухую смесь вливают в количестве 200 мл воду ($V/C = 0,4$), давая ей впитаться в течение 0,5 мин. После этого интенсивно лопаткой перетирают в течение 5 мин формовочную массу и для определения нормальной консистенции укладывают ее в два приема (слоями равной толщины) в коническую полую форму, установленную в центре протертого влажной тканью покрытого шлифованным стеклом встряхивающего столика (рис. 5.6).

За счет вращения кулачка прибора, контактирующего с вертикально скользящим в направляющих столика штоком, имитируется виброуплотнение раствора с амплитудой встряхивания 10 мм. Каждый слой формовочной смеси, уложенный в предварительно протертую изнутри влажной тканью коническую форму, уплотняют стальной штыковкой диаметром 20 мм и массой 350 ± 20 г. Нижний слой штыкуют 15 раз, верхний – 10 раз. При этом штыкование ведут от периферии к центру, придерживая форму рукой. Поверхность уплотненного раствора после срезания линейкой его излишка затирают шпателем и осторожно снимают коническую форму. Образовавшийся растворный конус встряхивают на столике 30 раз в течение 30 ± 5 с.

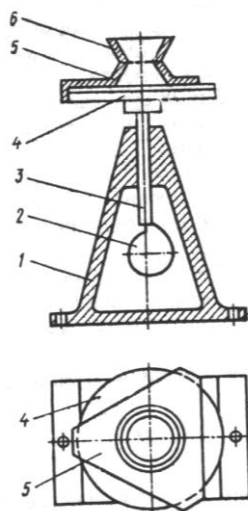


Рис. 5.6. Встряхивающий столик: 1 – станина, 2 – кулачок, 3 – шток, 4 – столик, 5 – форма – конус, 6 – насадка

Затем металлической линейкой измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях диаметр расплыва растворного конуса в его нижнем основании и за показатель подвижности смеси принимают средний из двух значений замеренных диаметров.

Консистенция раствора считается нормальной, если расплыв конуса составляет 106 – 115 мм. Водоцементное отношение, полученное при этом значении расплыва и рассчитанное с погрешностью не более 0,01 используют для проведения дальнейших испытаний. Если расплыв смеси оказывается меньше или больше нормальной консистенции, то испытания повторяют с вновь приготовленными растворами, содержащими соответственно большее или меньшее количество воды затворения. Результаты испытаний заносят в табл. 5.5.

Поскольку возможны повторные испытания при установлении нормальной консистенции цементно-песчаной растворной смеси, то работа в лаборатории выполняется тремя бригадами, изготавливающими смеси с различным водосодержанием.

Таблица 5.5

Результаты определения нормальной консистенции растворной смеси

Показатель		Размерность	Данные испытаний			
			1	2	3	4
Масса	цемента	г				
	песка	г				
Количество воды затворения		мл				
		%				
Диаметр расплыва конуса		мм				
Нормальная консистенция раствора		%				

Изготовление образцов-балочек

Для изготовления из раствора нормальной консистенции стандартных образцов-балочек размером 4×4×16 см используется следующее оборудование и инструменты: лабораторная виброплощадка, ванна с гидравлическим затвором, весы торговые циферблатные с пределом взвешивания 1000 г, разъемная форма металлическая с насадкой, металлическая сферическая чаша с лопаткой, мерный цилиндр емкостью 0,5 л, стальной шпатель.

Рабочую растворную смесь изготавливают в сферической чаше, предварительно протертой изнутри влажной тканью. Сначала отвешивается 1500 г стандартного песка, потом 500 г цемента. Эти сухие компоненты тщательно в течение 1 мин перемешивают в чаше лопаткой и в полученную смесь вливается навеска воды, соответствующая нормальной консистенции раствора. В течение 5 мин растворную смесь интенсивно перетирают лопаткой, а внутренние поверхности ячеек предварительно смазывают машинным маслом. Для облегче-

ния укладки раствора на форму устанавливают металлическую насадку, после чего форму помещают на виброплощадку и в течение 2 мин вибрации все три гнезда равномерно небольшими порциями заполняют раствором. По истечении трех минут от начала виброуплотнения виброплощадку отключают, форму переносят на стол, смоченным в воде шпателем заглаживают поверхность сформованных образцов и маркируют их.

Образцы в формах хранят в течение 24 ± 2 ч с момента изготовления над водой в ванне с гидравлическим затвором. Потом извлеченные из формы образцы укладывают в горизонтальном положении в ванну с водой, температура которой весь срок хранения должна быть 20 ± 2 °С. По истечении 28-суточного твердения с момента изготовления образцы вынимают из воды и не позднее чем через 1 ч подвергают механическим испытаниям.

Определение механических характеристик цемента

Для установления марки цемента используют следующее оборудование и приспособления: машина МИИ-100, пресс гидравлический мощностью 10 т, стальные пластинки размером $6,25 \times 4$ см (25 см^2). Марочными показателями являются значения пределов прочности при изгибе и сжатии, полученные при соответствующих испытаниях изготовленных образцов-балочек.

Предел прочности при изгибе определяется испытаниями на машине МИИ-100, что позволяет установить этот показатель непосредственно по счетчику прибора, не прибегая к дополнительным расчетам.

Образец устанавливают на опоры машины перпендикулярно плоскости его формирования. Предел прочности при изгибе испытываемого цемента вычисляют как среднее арифметическое из *двух* наибольших результатов испытания трех образцов.

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек подвергают испытанию *на сжатие*, используя для этого гидравлический пресс мощностью 10 т. Перед установкой на опорную плиту прессы половинку балочки помещают перпендикулярно плоскости формирования образца между двумя стальными пластинками площадью 25 см^2 , так чтобы упоры этих пластинок плотно прилегали к торцевой грани образца.

Предел прочности при сжатии ($R_{сж}$ кгс/см²; МПа) каждой половинки балочки вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P_{\max}}{F} = \frac{P_{\max}}{25}, \quad (5.4)$$

где P_{\max} – разрушающее усилие, кгс; кН;

F – площадь металлических пластинок, см².

За показатель прочности при сжатии цемента принимают среднеарифметическое значение из *четырёх* максимальных результатов испытаний.

Полученная таким образом величина характеризует активность испытываемого цемента. Данные экспериментов заносят в табл. 5.6 и 5.7 и, сравнивая их с требованиями ГОСТ 10178-85 (табл. 5.8 на соответствующий вид цемента, окончательно делают заключение о марке испытанного вяжущего.

Таблица 5.6

Результаты испытаний образцов на изгиб

Показатель		Размерность	Данные испытаний		
			1	2	3
Предел прочности при изгибе	отдельного образца	кг/см ² МПа			
	средний из двух максимальных	кг/см ² МПа			

Таблица 5.7

Результаты испытаний образцов на сжатие

Показатель		Размерность	Данные испытаний					
			1	2	3	4	5	6
Предел прочности при изгибе	отдельного образца	кг/см ² МПа						
	средний из четырех максимальных	кг/см ² МПа						

Таблица 5.8

Требования к маркам портландцемента и его разновидностям (ГОСТ 10178-85)

Наименование (вид) цемента	Марка	Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/см ²) в возрасте, сут		Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см ²) в возрасте, сут	
		3	28	3	28
Портландцемент	400	-	5,4 (55)	-	39,2 (400)
Портландцемент с минеральными добавками	500	-	5,9 (60)	-	49,0 (500)
	550	-	6,1 (62)	-	53,9 (550)
	600	-	6,4 (65)	-	58,8 (600)

Быстротвердеющий портландцемент	400	3,9 (40)	5,4 (55)	24,5 (250)	39,2 (400)
	500	4,4 (45)	5,9 (60)	27,5 (280)	49,0 (500)
Шлакопортландцемент	300	-	4,4 (45)	-	29,4 (300)
	400	-	5,4 (55)	-	39,2 (400)
	500	-	5,9 (60)	-	49,0 (500)
Быстротвердеющий шлакопортландцемент	400	34, (35)	5,4 (55)	19,6 (200)	39,2 (400)

Лабораторная работа 6

БИТУМЫ НЕФТЯНЫЕ (свойства, методы испытаний)

6.1. Общие сведения

Битумы представляют собой твердые, вязкопластичные или жидкие продукты переработки нефти, состоящие из смеси высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных.

По способу получения нефтяные битумы подразделяют на *остаточные* – образующиеся после отгонки из нефти жидких (бензин, керосин) продуктов и масел; *окисленные* – получаемые окислением кислородом остаточных фракций (гудронов); *крекинговые* – вырабатываемые расщеплением нефтяных продуктов под воздействием высоких температур и давлений или с использованием высоких температур и катализаторов; *компаундированные* – получаемые смешиванием битумных продуктов разной вязкости; *битумы деасфальтизации (экстрактивные)* – изготавливаемые осаждением асфальтосмолистой части гудронов различными растворителями; *жидкие* – образующиеся при разжижении вязких битумов жидкими нефтяными продуктами установленного фракционного состава с добавлением поверхностно-активных веществ. Главными компонентами всех этих видов органических вяжущих являются *масла* (45 – 65 %); *смолы* (15 – 30 %); *асфальтены* (15 – 25 %); *карбены* и *карбоиды* (1 – 2 %); *парафины* (около 1 %) и некоторые другие примеси (фенолы, нафталин и др.)

Поскольку масла, смолы и асфальтены, являясь основными составляющими битумов, входят в их состав в различных соотношениях, то они тем самым определяют их коллоидную структуру и важнейшие строительно-механические свойства. Так, с увеличением содержания *масел* возрастает подвижность и текучесть битумов; *смолы* обуславливают вяжущие свойства этих органических связующих и придают им тягучесть, эластичность и увеличивают

клеящую способность; *асфальтены* и их модификации – *карбены* и *карбоиды* – обеспечивают битумам температуростойкость и высокую вязкость, а также хрупкость (при отрицательных температурах); *асфальтогеновые кислоты* – повышают адгезионные свойства и тем самым хорошее сцепление битумов с минеральными заполнителями.

С учетом вязко-пластичных свойств при обычных (20 – 25 °С) температурах битумы подразделяют

- на *твердые* – упругие и хрупкие;
- *вязкие* – обладающие при этих температурах вязкими и пластичными свойствами;
- *жидкие* – отличающиеся повышенной подвижностью.

По назначению нефтяные битумы включают:

– <i>дорожные (БНД)</i> (ГОСТ 22245-90)	– для дорожно-строительных работ и изготовления асфальтобетонов, а также в качестве инъекционной и пропиточной гидроизоляции;
– <i>строительные БН</i> (ГОСТ 6617-76)	– для получения более твердых и тугоплавких асфальтовых мастик;
– <i>кровельные (БНК)</i> (ГОСТ 9458-74)	– для получения кровельных мастик и рулонных кровельных материалов;
– <i>изоляционные (БНИ)</i> (ГОСТ 9812-74)	– для антикоррозионной защиты подземных трубопроводов;
– <i>дорожные жидкие (СТ, МГ, МГО)</i> (ГОСТ 11955-82)	– для дорожных покрытий, а также в качестве лаков для гидроизоляции и антикоррозионной защиты.

Для получения гидроизоляционных материалов повышенной теплоустойчивости используют специальный тугоплавкий битум – *рубракс*, представляющий собой продукт окисления обычных битумов при температуре 160 – 300 °С в присутствии щелочи.

Основными структурно-механическими характеристиками нефтяных битумов, которыми оценивается их качество и соответствие определенным требованиям ГОСТ, являются: *вязкость* (пенетрация), *пластичность* (дуктильность), *температура размягчения*, *температура хрупкости*, *температура вспышки*, *сцепление с каменными материалами* (для дорожных битумов), *условная вязкость* (для жидких битумов).

Кроме того, при необходимости устанавливают фракционный состав жидких битумов, стабильность нефтяных битумов при длительном нагревании и другие, специальные свойства.

6.2. Методы испытаний нефтяных битумов

Целью настоящей лабораторной работы является установление прямыми испытаниями структурной вязкости, пластичности, теплостойкости вязких битумов, а также условной вязкости битумов жидких и на основании полученных результатов, сравнивая их с требованиями соответствующих ГОСТов, определить марку этих разновидностей органических вяжущих.

6.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ВЯЗКОСТИ (ПЕНЕТРАЦИИ) БИТУМОВ

Структурная вязкость как основное реологическое свойство битумов измеряется в условных единицах по величине *пенетрации* – глубине погружения иглы определенного (1 мм) диаметра и длины (50,8 мм) при температуре 25 °С в десятых долях миллиметра (градусах пенетрации).

Для проведения испытаний используются следующие приборы и оборудование: пенетрометр, термостат, песчаная или водяная баня, стеклянный сосуд (кристаллизатор), латунная чашка высотой не менее 35 мм, термометр, секундомер.

Перед испытаниями пробу битума подвергают обезвоживанию, расплавляя его на песчаной или водяной бане при температуре 120 – 180 °С. После этого расплавленный битум заливают в пенетрационную латунную чашку слоем высотой не менее 35 мм, охлаждают до температуры 18 – 22 °С и помещают в термостат, где выдерживают (при температуре $25 \pm 0,5$ °С) в течение 1 ч до испытания. После термостатирования чашку с пробой переносят в стеклянный кристаллизатор, заполненный водой с температурой 25 или 0 °С для дорожных битумов. В последнем случае используют воду с тающим снегом или льдом.

Подготовленную таким образом пробу испытуемого битума вместе с чашкой, установленной в кристаллизаторе, помещают на столик пенетрометра (рис. 6.1), подводят иглу до соприкосновения с поверхностью битума, а кремальеру (штангу) прибора до касания с иглодержателем и стрелку на циферблате ставят в нулевое положение. Нажимая на кнопку зажимного устройства, включают секундомер и дают игле свободно погружаться в битум. Длительность погружения при температуре испытания 25 °С – 5 с (масса иглодержателя с иглой 100 г), а при 0 °С – 60 с (масса иглодержателя с иглой 200 г).

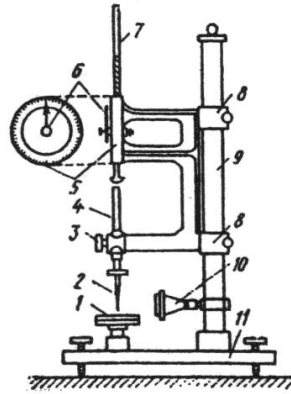


Рис. 6.1. Пенетрометр:

1 – столик; 2 – игла; 3 – кнопка; 4 – плунжер; 5 – циферблат; 6 – стрелка; 7 – кремальера; 8 – кронштейн; 9 – штатив; 10 – зеркало; 11 – подставка

По истечении указанного промежутка времени кремальеру снова приводят в соприкосновение с иглодержателем и по шкале циферблата прибора фиксируют в 0,1 долях мм (градусах пенетрации) глубину погружения иглы в битум. Определение повторяют не менее 3 раз, опуская при этом иглу в разных точках, отстоящих одна от другой и от стенки чашки не менее чем на 10 мм. После каждого погружения иглу протирают керосином и тщательно вытирают насухо.

За показатель пенетрации при 25 °С принимают среднее арифметическое значение не менее трех определений, расхождение между которыми не должно превышать величин, приведенных в табл. 6.1. Если эти расхождения превышают допустимые, то проводят дополнительные испытания на другой пробе битума.

Таблица 6.1

**Допустимые расхождения результатов определения
структурной вязкости битумов**

Глубина погружения иглы в битум при 25 °С, 0,1 мм	Допустимые расхождения между max и min определений, 0,1 мм
До 50	2
Св. 50 до 150	4
Св. 150 до 250	6
Св. 250	35 от среднеарифметического значения

Результаты определения структурной вязкости (пенетрации) заносят в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Структурная вязкость битума при 25 °С

Показатель			Данные испытаний		
			1	2	3
Отсчет по шкале пенетрометра	до погружения иглы	0,1 мм			
	после погружения иглы	0,1 мм			
Глубина погружения иглы в битум		0,1 мм			
Среднее значение пенетрации, 0,1 мм					

6.2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТЯЖИМОСТИ (ДУКТИЛЬНОСТИ) БИТУМА

Растяжимость является условным показателем пластичности битумов и характеризуется максимальной величиной, на которую может удлиниться без разрыва битумный образец – восьмерка (рис. 6.2), растягиваемый с постоянной скоростью 5 см/мин при заданной температуре (25 или 0 °С).

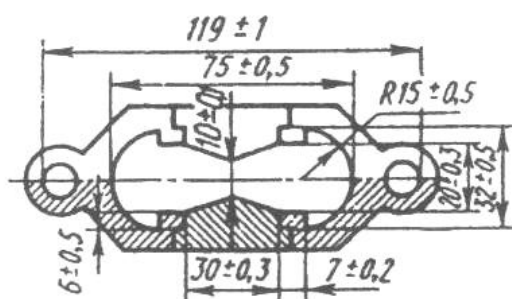


Рис. 6.2. Форма «восьмерка»

Для проведения испытаний используют дуктилометр (рис. 6.3), разъемные формы – восьмерки, термостат или водяную баню, сито № 07, стальной нож, термометр ртутный стеклянный с интервалом измерений 0 – 50 °С и ценой деления 0,5 °С, стеклянные пластики, фарфоровую чашку.

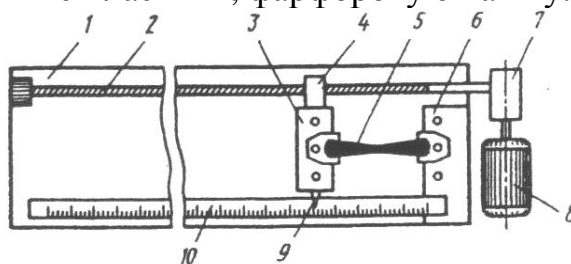


Рис. 6.3. Дуктилометр:

- 1 – ящик; 2 – винт; 3 – каретка; 4 – гайка; 5 – образец битума;
 6 – неподвижный упор; 7 – редуктор; 8 – электродвигатель;
 9 – стрелка; 10 – линейка

Пробу битума расплавляют в фарфоровой чашке, процеживают через сито № 07, хорошо перемешав до полного удаления пузырьков воздуха, заливают в предварительно собранные и установленные на стеклянные пластинки три формы

– восьмерки. Во избежание прилипания битума к стеклу и внутренним боковым поверхностям форм их покрывают смесью талька и глицерина в соотношении 1:3.

После охлаждения до 18 – 22 °С избыток битума срезается с поверхности формы горячим стальным ножом и образцы помещают на 1 ч в водяную баню (или термостат) с температурой $25 \pm 0,5$ °С и $0 \pm 0,5$ °С.

В дуктилометр заливают воду при соответствующей температуре в таком количестве, чтобы ее уровень был выше установленных для испытания образцов – восьмерок не менее чем на 25 мм.

Прошедшие термостатирование образцы снимают с пластинок, убирают разъемные боковые части форм, освобождая от них «шейки» битумных восьмерок и в таком виде закрепляют образцы захватами форм с одной стороны на неподвижной опоре дуктилометра, а с другой – на подвижной каретке со стрелкой-указателем.

Включают электродвигатель и фиксируют по линейке дуктилометра удлинение образцов в сантиметрах в момент их разрыва. Растяжение осуществляется со скоростью 5 см/мин. За растяжимость (дуктильность) данной пробы битума принимают среднее арифметическое значение максимального удлинения трех образцов. Допускаемое расхождение в устанавливаемых показателях не должно превышать 10 % от среднего арифметического. Результаты испытаний заносят в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Растяжимость (дуктильность) битума

Показатель	Размерность	Данные испытаний		
		1	2	3
Температура битума	°С			
Максимальное удлинение	см			
Среднеарифметический показатель дуктильности	см			
Расхождение в удлинении отдельного образца от среднеарифметического показателя	%			

6.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗМЯГЧЕНИЯ БИТУМА

Поскольку переход из твердого состояния в жидкое у отличающихся аморфным строением, битумов происходит постепенно в довольно большом интервале температур, то при их испытаниях определяют не температуру плавления, как у однородных кристаллических веществ, а *температуру размягчения*. Она характеризует теплостойкость битума и, как у других материалов, не имеющих кристаллической решетки, определяется на приборе «кольцо и шар» (КиШ).

Прибор представляет собой этажерку (рис. 6.4), состоящую из трех металлических дисков, укрепленных друг от друга на определенном расстоянии вертикальными металлическими стержнями. Просвет между двумя нижними дисками составляет 25,4 мм, при этом в верхнем из них вырезаны два отвер-

ствия, в каждое из которых устанавливают латунные кольца внутренним диаметром 15,9 мм и высотой 6,4 мм. В верхнем диске этажерки также имеется отверстие, через которое вставляется термометр, ртутный шарик которого устанавливается на уровне среднего диска прибора.

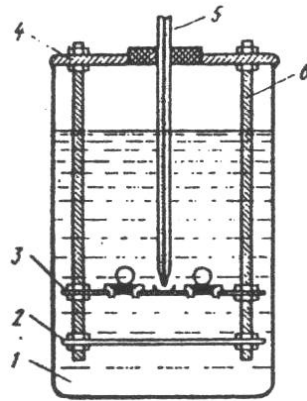


Рис. 6.4. Прибор «кольцо и шар»:

- 1 – стакан; 2 – контрольная полка; 3 – полка с отверстиями для колец;
4 – верхний диск; 5 – термометр

К прибору КиШ прилагаются два стальных шарика диаметром 9,5 мм и массой 3,5 г каждый. Кроме этого для проведения испытаний необходимо иметь стеклянный стакан диаметром не менее 85 мм и высотой не менее 120 мм, сито № 07, электроплитку, стальной нож, стеклянную пластинку.

Предварительно обезвоженный и нагретый до подвижного состояния при температуре 120 – 180 °С битум процеживают через сито № 07 и интенсивно перемешивают для удаления пузырьков воздуха. Латунные кольца помещают на стеклянную пластинку, смазанную смесью глицерина и талька, и наливают в них с некоторым избытком подготовленный битум.

После застывания избыток битума срезают нагретым ножом и в центре каждого кольца на битум помещают стальные шарики. В таком виде кольца вставляют в отверстия среднего диска прибора и вместе с термометром устанавливают на 15 мин в стакан, наполненный дистиллированной водой температурой 5 °С.

Подготовленный таким образом прибор вместе со стаканом, заполненным водой, ставят на электроплитку и нагревают со скоростью 5 °С/мин. По мере подогрева воды и размягчения битума металлический шарик продавливается вместе с битумом через кольцо и в момент, когда он коснется нижнего диска этажерки (рис. 6.5), фиксируют температуру размягчения.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение температур размягчения, зафиксированных для обоих шариков, округленное до целых чисел. Допускаемое расхождение между результатами двух определений не должно превышать 1 °С. Результаты испытаний заносят в табл. 6.4.

Полученные средние значения пенетрации, дуктильности и температуры размягчения испытанного битума сравнивают с требованиями стандартов для

соответствующих разновидностей битумов (табл. 6.5) и окончательно устанавливают вид и марку данного органического вяжущего.

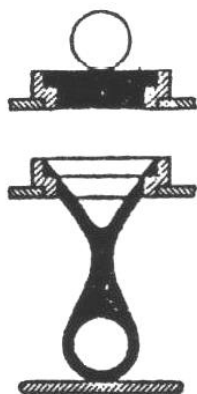


Рис. 6.5. Прибор «кольцо и шар»; кольцо с битумом и шариком

Таблица 6.4

Температура размягчения битума

Показатель		Размерность	Данные испытаний	
			1	2
Температура битума в кольцах	начальная	°С		
	конечная	°С		
Температура размягчения		°С		

Таблица 6.5

Основные требования к нефтяным битумам

Марка битума	Температура размягчения, °С, не ниже	Глубина проникновения иглы 0,1 мм при температуре, не менее		Растяжимость, см не менее	
		25 °С	0 °С	25 °С	0 °С
1	2	3	4	5	6
Дорожные битумы, ГОСТ 22245-90					
БНД 200/300	35	201 – 300	45	-	20
БНД 130/200	40	131-200	35	70	6
БНД 90/130	43	91-130	28	65	4
БНД 60/90	47	61-90	20	55	3,5
БНД 40/60	51	40-60	13	45	-
БН 200/300	33	201-300	24	-	-
БН 130/200	38	131-200	18	80	-
БН 90/130	41	91-130	15	80	-
БН 60/90	45	60-90	10	70	-
Строительные битумы, ГОСТ 6617-76					
БН 50/50	50-60	41-60	-	40	-

БН 70/30	70-80	21-40	-	3	-
БН 90/10	90-105	5-20	-	1	-

Окончание табл. 6.5

1	2	3	4	5	6
Кровельные битумы, ГОСТ 9458-74					
БНК 45/180	40-50	140-220	-	-	-
БНК 90/40	85-95	35-45	-	-	-
БНК 90/30	85-95	25-35	-	-	-
Изоляционные битумы, ГОСТ 9812-74					
БНИ IV-3	65	30-50	15	4	-
БНИ VI	75	25-40	12	3	-
БНИ V	90	20	9	2	-

6.3. Жидкие нефтяные дорожные битумы (классификация, свойства, методы испытаний)

Жидкие нефтяные дорожные битумы получают смешиванием в разогретом состоянии вязких нефтяных битумов марок БНД 40/60 и БНД 60/90 с разжижителями – жидкими нефтепродуктами (керосин, мазут).

В зависимости от скорости формирования структуры жидкие битумы подразделяются на *два класса*: густеющие со *средней скоростью* (СГ) при температуре кипения разжижителя не ниже 145 °С и *медленногустеющие* (МГ), получаемые разжижением нефтепродуктов с температурой кипения выше 145 °С и (МГО) изготавливаемые из остаточных или частично окисленных нефтепродуктов, а также их смесей.

При разжижении вязких битумов их температура не должна превышать 120 °С.

Среднегустеющие (СГ) жидкие битумы предназначены для строительства капитальных и облегченных дорожных покрытий и устройства их оснований во всех дорожно-климатических зонах страны.

Медленногустеющие (МГ и МГО) жидкие битумы используют для получения холодного асфальтобетона, а также дорожных покрытий облегченного типа и оснований во II – V дорожно-климатических зонах и других целей.

В зависимости от класса и вязкости устанавливаются следующие марки жидких битумов: СГ 40/70, СГ 70/130, СГ 130/200, МГ 40/70, МГ 70/130, МГ 130/200, МГО 40/70, МГО 70/130, МГО 130/200. Цифры в марочных показателях жидких битумов характеризуют их условную вязкость при температуре 60 °С.

Структурно-технические свойства жидких дорожных битумов оцениваются условной вязкостью, количеством испаряющегося разжижителя, температурой размягчения остатка после испарения разжижителя, температурой вспышки и степенью сцепления с мрамором или с кварцевым песком.

Цель настоящей работы – лабораторными испытаниями определить условную вязкость жидкого битума и рассчитать состав жидкого битума требуемой вязкости.

6.3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНОЙ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОГО БИТУМА (С)

Этот показатель определяется с помощью вискозиметра с выходным (сточным) отверстием 5 мм и оценивается временем истечения (с) из него 50 мл жидкого битума при температуре 60 °С (c_{60}^5). Для проведения испытаний используют: вискозиметр (рис. 6.6), сито № 07, термометр с интервалом измерений температуры до 100 °С, мерный стеклянный цилиндр емкостью до 100 мл, секундомер, электроплитку.

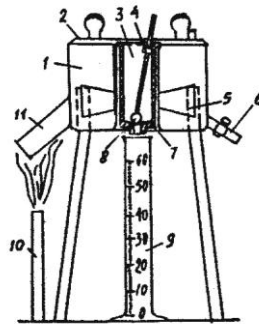


Рис. 6.6. Стандартный вискозиметр:

- 1 – водяная баня; 2 – крышка; 3 – стакан вискозиметра; 4 – штифт пробки;
5 – крыльчатка для перемешивания воды; 6 – кран; 7 – сменное доньшко
с калиброванным отверстием; 8 – шарик пробки; 9 – мерный цилиндр;
10 – газовая горелка; 11 – подогреваемый отросток водяной бани

Предварительно испытуемый битум подвергают обезвоживанию, процеживают через сито № 07 и нагревают до 60 °С. Баню вискозиметра наполняют водой, нагретой до 65 °С, сточное отверстие прибора закрывают шариковым клапаном и в стакан прибора до штифта на штанге шарикового клапана заливают битум. Включают мешалку водяной бани и с помощью нагревательного элемента доводят температуру битума до $60 \pm 0,5$ °С.

Под сточное отверстие вискозиметра устанавливают стеклянный мерный цилиндр, поднимая шариковый клапан, сливают в него 25 см³ битума и включают секундомер. Когда уровень битума в цилиндре достигнет отметки 75 см³, секундомер останавливают. За условную вязкость принимают промежуток времени в секундах, соответствующий истечению из вискозиметра 50 см³ жидкого битума.

Испытание повторяют и за окончательную характеристику вязкости принимают среднеарифметическое значение двух определений. Результаты испытаний заносят в табл. 6.6.

Таблица 6.6

Условная вязкость жидкого битума

Показатель	Размерность	Данные испытаний
------------	-------------	------------------

		1	2
Температура битума	°C		
Время истечения 50 см ³ битума	с		
Условная вязкость	с		

Полученное значение условной вязкости сравнивают с требованиями ГОСТ 11955-82 (табл. 6.7) и делают предварительное заключение о марке битума.

Таблица 6.7

Основные требования к жидким нефтяным битумам

Показатель	Размерность	Нормы для марок								
		СГ 40/70	СГ 70/130	СГ 130/200	МГ 40/70	МГ 70/130	МГ 130/200	МГО 40/200	МГО 70/130	МГО 130/200
Условная вязкость по вискозиметру с отверстием 5 мм при 60 °C (C_{60}^5)	с	40-70	71-130	131-200	40-70	71-130	131-200	40-70	71-130	131-200
Количество испарившегося разжижителя, не менее	%	10	8	7	8	7	5	-	-	-
Температура размягчения остатка после определения количества испарившегося разжижителя, не ниже	°C	37	39	39	28	29	30	-	-	-
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, не ниже	°C	45	50	60	100	110	110	120	160	180

6.3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЖИДКОГО НЕФТЯНОГО БИТУМА ЗАДАННОЙ ВЯЗКОСТИ

Цель работы: освоить методику подбора состава жидкого битума требуемой условной вязкости.

Порядок работы: для приготовления жидкого среднегустеющего битума навеску 250 г вязкого битума марки БНД 40/60 или БНД 60/90 нагревают до

температуры не выше 120 °С, используя для этого металлический или фарфоровый сосуд. Затем поочередно в два стеклянных стакана из термостойкого стекла, обернутых кошмой, отвешивают по 100 г разогретого битума и, не давая ему остыть, добавляют в каждую порцию при постоянном перемешивании соответствующее количество разжижителя (керосин). В одну из проб добавляют 10 г разжижителя, во вторую – 20 г.

После тщательного перемешивания до получения однородной массы смеси охлаждают и по методике, изложенной в разделе 6.3.2, определяют условную вязкость каждой пробы.

Процентное содержание разжижителя в этих пробах жидкого битума вычисляют по формуле:

$$P = \frac{m_p}{m_b + m_p} 100, \quad (6.1)$$

где m_b и m_p – содержание битума и разжижителя в соответствующих составах жидкого битума, г.

Состав жидкого битума требуемой условной вязкости устанавливают с помощью графика (рис. 6.7), поостренного в осях «условная вязкость (C_{60}^5)», с – ордината и «содержание разжижителя (P), % – абсцисса.

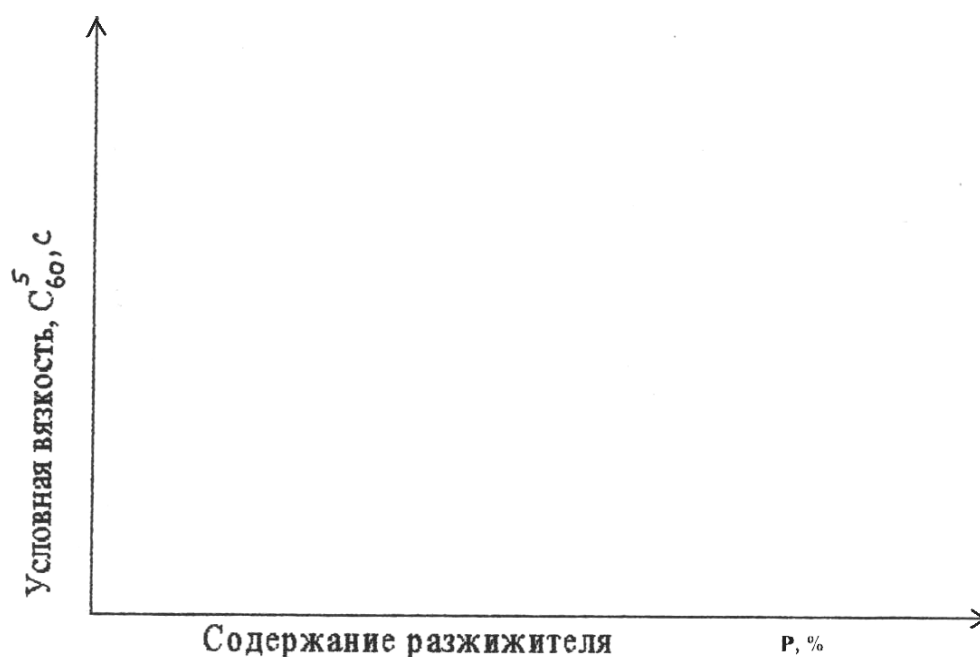


Рис. 6.7. Зависимость вязкости жидкого битума от содержания разжижителя

Для этого на оси ординат откладывают значения фактической условной вязкости каждого состава испытанного битума (C_1 и C_2), а на оси абсцисс – соответственно содержание в них разжижителя (P_1, P_2). Координатные точки соединяют прямыми линиями и требуемое содержание разжижителя в битуме с необходимой условной вязкостью (C_{mp}) определяют, проводя горизонтальную линию от точки на оси ординат, соответствующей заданной вязкости, до пересечения с одной из прямых линий графика и, опустив из их точки пересечения

перпендикуляр на ось абсцисс, определяют требуемое количество разжижителя ($P_{тр}$).

Процентное содержание вязкого битума (%) в заданном составе ($B_{тр}$) рассчитывают по формуле:

$$B_{тр} = 100 - P_{тр}, \quad (6.2)$$

где $P_{тр}$ – содержание разжижителя в жидком битуме требуемой вязкости.

У приготовленной пробы составленного битума проверяют условную вязкость и при несоответствии ее заданной величине состав жидкого битума корректируют путем увеличения или уменьшения содержания вводимого в него разжижителя.

Лабораторная работа 7

ЛЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (ДРЕВЕСИНА) (свойства, методы испытаний)

7.1. Общие свойства

Древесина относится к одному из весьма распространенных природных строительных материалов органического происхождения. Она отличается рядом специфических только ей присущих свойств, определяемых как вещественным составом и структурными особенностями, так и условиями произрастания. К достоинствам этого материала относятся: *легкость* (средняя плотность основных древесных пород не превышает 600 кг/м³); *низкая теплопроводность*; *легкая обрабатываемость*, *высокие механические свойства* (по прочности при сжатии и изгибе превосходит такие искусственные материалы, как кирпич и бетон); сочетание высокой прочности и легкости обеспечивает древесине *высокий коэффициент конструктивного качества (ККК)*; *естественная декоративность*; *повышенная химическая стойкость* в отношении кислот и щелочей.

С другой стороны, древесина обладает и некоторыми недостатками, ограничивающими области ее применения: *анизотропностью* – неоднородностью структуры и свойств в разных направлениях по отношению к расположению волокон; повышенной *гигроскопичностью* – способностью активно поглощать влагу как из воздуха, так и при непосредственном контакте с водой. Оба этих недостатка приводят к неравномерному набуханию, короблению древесины, увеличению ее массы и плотности, изменению линейных размеров и объема, снижению прочностных показателей и загниванию в переменно-влажностных условиях.

Показатели физико-механических свойств лесоматериалов зависят также от наличия в них различных пороков – сучков, трещин, косослоя, свилеватости, гнилей и пр., что непосредственно отражается на снижении технических характеристик древесины и предопределяет широкое использование в строительной практике клееных материалов и изделий – фанеры, плит, деревоклееных конст-

рукций, приближая тем самым механические показатели к прочности древесины без пороков.

Учитывая эти особенности лесных материалов при оценке качества древесины в лабораторных условиях используют так называемые *чистые образцы*, вырезанные из участков, лишенных пороков. При этом устанавливаются такие важнейшие физико-механические характеристики древесины, как влажность, усушка и разбухание, плотность, прочность при сжатии вдоль волокон, статическом изгибе и при скалывании вдоль волокон.

Поскольку свойства древесины как высокопористого материала заметно изменяется с изменением ее влажности, то для получения сравнимых результатов численные показатели определяемых свойств приводят к так называемой *нормализованной 12 %-й влажности*.

В связи с природной изменчивостью древесины, а также неизбежной нестабильностью условий испытаний для получения надежных показателей ее свойств испытывают не единичные образцы, а серии не менее чем из трех и за результат принимают среднее арифметическое значение из соответствующих показателей отдельных образцов.

7.2. Методы определения основных физических свойств древесины

Данные о физических свойствах древесины имеют большое значение для решения многих практических задач. Эти свойства связаны с особенностями строения лесных материалов, определяющими их высокую пористость и как следствие *гигроскопичность*, что в свою очередь предопределяет среднюю плотность и формоизменяемость древесины при взаимодействии с внешней средой. Именно поэтому при лабораторных исследованиях древесины в первую очередь определяют такие ее физические свойства, как влажность, линейная и объемная усушка и разбухание, средняя плотность в разных влажностных состояниях.

7.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Влажностью называется отношение (%) содержащейся в древесине влаги к ее массе в сухом состоянии. Этот показатель может измеряться как прямым, так и косвенным (электровлагометрия) методами. Одним из прямых методов, при котором влажность древесины можно определять с погрешностью до 0,1%, является *метод высушивания* (ГОСТ 16483.7-71).

Для этого нужно иметь следующие приборы, оборудование, инструменты и материалы: аналитические или квадрантные весы, сушильный шкаф, набор стеклянных или металлических бюкс, эксикатор с безводным хлористым кальцием или серной кислотой концентрацией не ниже 94 %, образцы древесины в виде призмы с размерами 2×2×3 см. Допускается использование образцов и другой формы, в том числе и неправильной, объемом не менее 4 – 5 см³.

Работа выполняется тремя бригадами, каждая из которых устанавливает исследуемый параметр на серии из трех образцов предварительно выдержанных в эксикаторах до соответствующей степени влажности.

Подготовленные образцы помещают в заранее взвешенные пустые бюксы с притертыми крышками (m_1). Эти и все последующие взвешивания производят с погрешностью, не превышающей 0,01 г.

После определения массы образцов вместе с бюксами (m_2) их помещают (при снятых крышках бюкс) в сушильный шкаф, предварительно нагретый до температуры 103 ± 2 °С.

Первое контрольное взвешивание в процессе сушки проводят не ранее чем через 4 – 6 ч после начала высушивания. При этом бюксы закрывают крышками и до взвешивания охлаждают в эксикаторе. Если разница в показаниях весов при двух последних взвешиваниях составляет менее 0,02 г, высушивание считают законченным, фиксируя массу сухой древесины с бюксом (m_3). Влажность (W) каждого испытанного образца древесины в процентах (с погрешностью до 0,01%) вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} 100 \%, \quad (7.1)$$

где m_1 – масса пустой бюксы, г;

m_2 – масса бюксы с образцом до высушивания, г;

m_3 – масса бюксы с образцом после высушивания, г.

Полученные данные заносят в табл. 7.1, где за влажность испытуемой древесины принимают среднеарифметический показатель испытания трех образцов.

Таблица 7.1

Результаты определения влажности древесины

Показатель		Размерность	Данные испытаний		
			1	2	3
№ бюкс		-			
Масса	пустой бюксы (m_1)	г			
	бюксы с влажным образцом (m_2)	г			
	бюксы с сухим образцом (m_3)	г			
Влажность образцов (W)		%			
Среднее значение влажности древесины		%			

7.2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Средняя плотность (ρ) характеризуется отношением массы материала к его объему (г/см³; кг/м³). Для древесины этот показатель находится в прямой зависимости от ее породы, строения, в значительной степени от влажности и других факторов.

В соответствии с требованиями ГОСТ 16483.1-84 среднюю плотность определяют на призматических образцах размером $2 \times 2 \times 3$ см при известной влажности. Принято определять плотность при влажности древесины в момент испытаний (ρ_w); в абсолютно сухом состоянии (ρ_o) и при нормализованной 12 %-й влажности (ρ_{12w}).

Для проведения испытаний необходимо иметь следующее оборудование и инструменты: весы аналитические или квадрантные с погрешностью взвешивания от 0,02 до 0,001 г, сушильный шкаф, набор бюкс, штангенциркуль или микрометр с погрешностью измерения не более 0,1 мм, сосуд с дистиллированной водой.

Работа выполняется в следующей последовательности: образцы, предварительно выдержанные в течение не менее трех суток в различных влажностных условиях, взвешивают с указанной точностью и фиксируют их массу (m_w) при данной влажности (W). После этого штангенциркулем или микрометром в точках пересечения диагоналей, нанесенных карандашом на торцах и боковых поверхностях образцов, производят замеры их толщины (a), ширины (b) и длины (l) с погрешностью до 0,1 мм и вычисляют с точностью до 0,01 см³ по формуле их объем при данной влажности (V_w):

$$V_w = a \cdot b \cdot l, \text{ см}^3. \quad (7.2)$$

Плотность древесины при данной влажности (ρ_w) рассчитывают с погрешностью до 5 кг/м³ по формуле:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} 10^3, \text{ кг/м}^3. \quad (7.3)$$

Затем образцы укладывают в предварительно взвешенные бюксы и высушивают в сушильном шкафу по изложенной ранее методике до постоянной массы. С точностью до 0,02 г рассчитывают массу абсолютно сухих образцов (m_o), вслед за этим немедленно производят их замеры в тех же, что и ранее точках и определяют в см³ их объем (V_o). По формуле вычисляют плотность абсолютно сухой древесины (ρ_o):

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o} 10^3, \text{ кг/м}^3. \quad (7.4)$$

Затем рассчитывают влажность (W) образцов перед их высушиванием:

$$W = \frac{m_w - m_o}{m_o} 100, \%. \quad (7.5)$$

После этого производят пересчет плотности при нормализованной 12 %-й влажности (ρ_{12w}):

а) для березы, бука, граба, лиственницы:

$$\rho_{12w} = \rho_w \frac{(100 + 0,6W)}{0,957(100 + W)} \text{ при } W < 30 \%; \quad (7.6)$$

$$\rho_{12w} = \frac{\rho_w}{0,811(1 + 0,01W)} \text{ при } W > 30 \% ; \quad (7.7)$$

б) для остальных древесных пород:

$$\rho_{12w} = \rho_w \frac{(100 + 0,5W)}{0,946(100 + W)} \text{ при } W < 30 \% ; \quad (7.8)$$

$$\rho_{12w} = \frac{\rho_w}{0,823(1 + 0,01W)} \text{ при } W > 30\% . \quad (7.9)$$

Для всех значений средней плотности (ρ_w ; ρ_o ; ρ_{12w}) рассчитывают среднеарифметические показатели из трех образцов серии и на основании полученных данных (табл. 7.2) делают окончательное заключение по результатам проведенных испытаний. С достаточной степенью точности для перерасчета средней плотности древесины на нормализованную влажность можно использовать следующую формулу:

$$\rho_{12w} = \rho_w [1 + 0,01(1 - K_o)(12 - W)] , \quad (7.10)$$

где ρ_w – плотность влажного образца, г/см³;

W – влажность древесины, %;

K_o – коэффициент объемной усушки, средние значения которого
для сосны, ели, бука, дуба, осины $\approx 0,45$;
березы, граба и лиственницы $\approx 0,53$;
пихты, кедра $\approx 0,38$.

Таблица 7.2

Определение средней плотности древесины

Показатель			Размер- ность	Данные испытаний		
				1	2	3
Масса образца	влажного (m_w)		г			
	сухого (m_o)		г			
Линейные размеры образца	влажных	a	мм			
		b	мм			
		h	мм			
	сухих	a_o	мм			
		b_o	мм			
		h_o	мм			
Объем образца	влажного	V_w	см ³			
	сухого	V_o	см ³			
Влажность древесины			%			
Средняя плотность	ρ_w	кг/м ³				
	ρ_o	кг/м ³				
	ρ_{12w}	кг/м ³				
Среднее значение плотности	ρ_w	кг/м ³				
	ρ_o	кг/м ³				
	ρ_{12w}	кг/м ³				

7.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСУШКИ И РАЗБУХАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Изменение содержания физически связанной (гигроскопической) воды в древесине сопровождается либо усушкой, либо разбуханием, т.е. соответствующим уменьшением или увеличением ее линейных размеров и объема. При этом в силу анизотропности материала эти изменения в различных направлениях по отношению к расположению древесных волокон резко отличаются друг от друга – при минимальных значениях вдоль волокон они резко возрастают в направлении поперечном (особенно в тангенциальном).

Практическая значимость этих характеристик весьма велика, особенно при назначении режимов камерной сушки лесоматериалов и установлении наиболее благоприятных температурно-влажностных условий эксплуатации деревянных изделий и конструкций.

Для проведения испытаний используют следующие приборы, инструменты и оборудование: весы с погрешностью взвешивания 0,02 г, сушильный шкаф, микрометр с погрешностью измерений не более 0,01 мм, металлическую линейку, набор бюкс, эксикатор с безводным хлористым кальцием или серной кислотой концентраций не ниже 94 %, сосуд с дистиллированной водой.

Испытаниям подвергают заранее подготовленные стандартные (ГОСТ 16483.8-71) образцы-призмы размером $2 \times 2 \times 3$ см или торцовые квадратные образцы размером $3 \times 3 \times 1$ см. При этом одна пара противоположных граней этих образцов должна быть параллельна годичным слоям древесины (тангентальное направление), а другая – им перпендикулярна (радиальное направление).

Некоторое отступление от стандартной формы и размеров в торцовых квадратных образцах сделано с целью увеличения точности определяемых параметров и ускорения сушки древесины. Перед началом испытаний на торцовой поверхности образцов карандашом наносят две взаимно перпендикулярные риски – одну перпендикулярно годичным слоям, другую – параллельно им. Предварительно по нанесенным рискам замеряют микрометром с точностью до 0,01 мм исходные размеры образцов (a_n , b_n , h_n) и помещают их в сосуд с дистиллированной водой, где выдерживают до момента прекращения изменения начальных размеров, что соответствует максимальному насыщению стенок древесных клеток физически связанной гигроскопической водой, т.е. точка насыщения волокон (ТНВ), при влажности равной или выше 30 %.

После этого производят повторные замеры образцов, устанавливают их линейные размеры (мм) в насыщенном водой состоянии (a_{max} , b_{max} , h_{max}) и полученные данные заносят в табл. 7.3. Подготовленные образцы помещают в предварительно взвешенные бюксы и высушивают до нулевой влажности при температуре 103 ± 2 °С, проводя контрольные взвешивания при закрытых крышках бюкс и их охлаждение в эксикаторе через каждые 2 ч с начала высушивания.

Влажность образцов после высушивания и охлаждения рассчитывают по формуле с погрешностью до 0,1%:

$$W = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_3 - m_1)} 100, \quad (7.11)$$

где m_1 – масса пустой бюксы, г;
 m_2 – масса бюксы с влажным образцом, г;
 m_3 – масса бюксы с сухим образцом, г.

Затем немедленно устанавливают линейные размеры (мм) образцов после высушивания (a_o , b_o , h_o), заносят их значения в табл. 7.3 и производят вычисление максимальных линейных усушек (β_{max}) и разбухания (α_{max}) и соответствующих значений коэффициентов линейной (K_β) усушки и разбухания (K_α).

В случае использования в исследованиях образцов-призм возможно также определение объемной усушки (V_β) и разбухания (V_α) и соответственно коэффициентов объемной усушки (K_v) и разбухания (K_p).

Максимальные *линейные усушки* в радиальном (β_R) и тангентальном (β_t) направлениях вычисляют с точностью до 0,1% по формулам:

$$\beta_R = \frac{a_{max} - a_o}{a_{max}} 100; \quad (7.12)$$

$$\beta_t = \frac{b_{max} - b_o}{b_{max}} 100, \quad (7.13)$$

где a_{max} и b_{max} – линейные размеры в радиальном и тангентальном направлениях (мм) *во влажном состоянии*;
 a_o и b_o – линейные размеры в соответствующих направлениях (мм) *в абсолютно сухом состоянии*.

Коэффициенты линейной усушки в соответствующих направлениях, характеризующие изменения линейных размеров на 1% изменения влажности древесины рассчитывают с точностью 0,01 %:

$$K_{\beta_R} = \frac{\beta_R}{W}; \quad (7.14)$$

$$K_{\beta_t} = \frac{\beta_t}{W}, \quad (7.15)$$

где W – начальная влажность древесины (%), соответствующая среднему значению предела насыщений – 30 %.

Максимальные значения *разбухания* в радиальном (α_R) и тангентальном (α_t) направлениях вычисляют с точностью до 0,1 %:

$$\alpha_R = \frac{a_{max} - a_o}{a_{max}} 100; \quad (7.16)$$

$$\alpha_t = \frac{b_{max} - b_o}{b_{max}} 100, \quad (7.17)$$

где a_{max} и b_{max} – соответствующие линейные размеры в радиальном и тангентальном направлениях в насыщенном водой состоянии (мм);
 a_o и b_o – размеры в абсолютно сухом состоянии.

Коэффициенты *линейного разбухания* в радиальном и тангентальном направлениях рассчитывают с точностью до 0,01% влажности древесины по следующим формулам:

$$K_{\alpha_R} = \frac{\alpha_R}{W}; \quad (7.18)$$

$$K_{\alpha_t} = \frac{\alpha_t}{W}, \quad (7.19)$$

где W – начальная влажность древесины, %, соответствующая среднему значению предела насыщений – 30 %.

При проведении испытаний обязательно указывается порода древесины и производится маркировка исследуемых образцов.

Коэффициент линейной усушки можно вычислить, зная коэффициент разбухания (при $W=30$ %):

$$K_{\beta} = \frac{100 \cdot K_{\alpha}}{100 + 30 \cdot K_{\alpha}}. \quad (7.20)$$

Таблица 7.3

Определение линейной усушки и разбухания

Показатель			Размер- ность	Данные испытаний		
				1	2	3
Масса образца		влажного	г			
		абсолютно сухого	г			
Влажность образца			%			
Линейные раз- меры образца	в радиальном направлении	до высушива- ния	мм			
		после высуши- вания	мм			
	в тангенталь- ном направле- нии	до высушива- ния	мм			
		после высуши- вания	мм			
Максимальная усушка (β_{max})		радиальная	%			
		тангентальная	%			
Максимальное разбухание (α_{max})		радиальное	%			
		тангентальное	%			
Коэффициент линейной усушки (K_{β})		радиальный	-			
		тангентальный	-			
Коэффициент линейного разбу- хания (K_{α})		радиальный	-			
		тангентальный	-			

7.3. Методы определения механических свойств древесины

Механические свойства характеризуют способность древесины сопротивляться воздействию внешних сил. Эти свойства определяют возможность применения лесных материалов в качестве различных конструктивных строительных элементов и осуществления многих технологических процессов переработки древесины.

К важнейшим механическим свойствам относятся *прочность* - способность сопротивляться разрушению под действием механических нагрузок и *деформативность* – способность древесины изменять свои размеры и форму под действием соответствующих усилий. Механические характеристики устанавливаются лабораторными испытаниями малых чистых образцов сечением 20×20 мм по методикам, предусмотренным стандартами на определенный вид испытаний.

При проведении этих испытаний обязательно учитываются такие особенности лесных материалов, как анизотропность и гигроскопичность, в связи с чем обязательно указывается в каком направлении к расположению волокон древесины прикладываются нагрузки и при какой влажности проводится данное исследование. Именно поэтому для сравнения показателей разных свойств испытываемой древесины, их значения приводят к нормализованной 12 %-й влажности. Механические характеристики устанавливают с помощью различного испытательного оборудования – гидравлических прессов, универсальных машин, которые позволяют измерять усилия с погрешностью не более 1 % от прикладываемой нагрузки.

7.3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ СЖАТИИ ВДОЛЬ ВОЛОКОН

Испытания проводят по методике, предусмотренной ГОСТ 16483.10-84. Используются следующее оборудование, приспособления, инструменты: гидравлический пресс мощностью 10 т, приспособление для данного вида испытаний, штангенциркуль или микрометр, весы квадрантные, сушильный шкаф, бюксы.

Испытывают стандартные прямоугольные образцы-призмы размером 2×2×3 см с различной степенью влажности. Работу выполняют тремя бригадами, каждая из которых определяет соответствующий прочностной показатель серии из трех образцов.

Предварительно штангенциркулем или микрометром измеряют размеры поперечного сечения образцов различной влажности на середине их высоты с погрешностью не более 0,1 мм.

Поместив образец в специальное приспособление со съемной шаровой опорой (рис. 7.1) таким образом, чтобы усилие было направлено вдоль длины волокон древесины, и установив его в таком виде между плитами гидравличе-

ского пресса, равномерно нагружают испытуемый образец со средней скоростью (25000 ± 5000) Н/мин до момента разрушения, фиксируя максимальную нагрузку.

После испытания деформированный образец помещают в предварительно взвешенную бюксу, взвешивают вместе с бюксой и высушивают в сушильном шкафу до абсолютно сухого состояния, взвесив при этом вместе с бюксой с закрытой крышкой. По формуле (7.5) вычисляют влажность каждого образца в

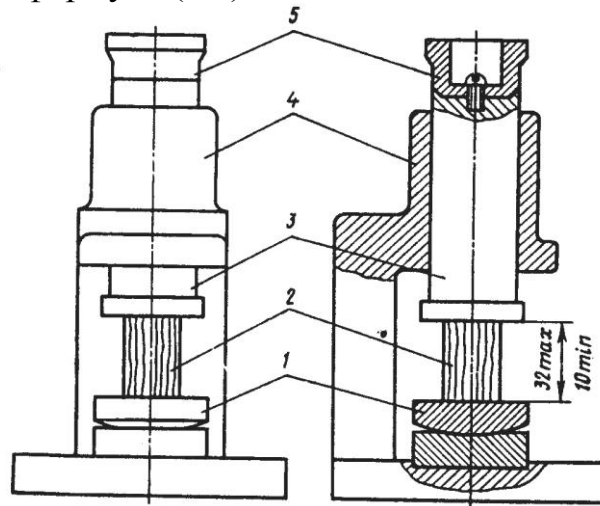


Рис. 7.1. Приспособление для испытания образцов древесины на сжатие вдоль волокон:

- 1 – сферическая самоустанавливающаяся опора; 2 – образец древесины;
3 – пуансон; 4 – корпус; 5 – опора, воспринимающая нагрузку

момент испытания, а потом определяют предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон с погрешностью не более 0,5 МПа.

$$\sigma_w = \frac{P_{\max}}{a \cdot b}, \quad (7.21)$$

где σ_w – предел прочности древесины при влажности W , МПа;
 P_{\max} – максимальная нагрузка, Н;
 a и b – размеры поперечного сечения образца, см.

Полученное значение предела прочности пересчитывают на нормализованную влажность по следующим формулам

$$\sigma_{12w} = \sigma_w [1 + \alpha (W - 12)], \quad (7.22)$$

где σ_{12w} – предел прочности древесины при 12 %-й влажности, МПа;
 W – влажность образца в момент испытания, не превышающая 30 %;
 α – поправочный коэффициент на влажность, равный 0,04 для всех древесных пород, испытываемых на сжатие вдоль волокон и при статическом изгибе.

Если образец во время испытания имел влажность 30 % и более, используют формулу пересчета на 12 %-ю влажность:

$$\sigma_{12w} = \frac{\sigma_{30}}{K}, \quad (7.23)$$

где σ_{30} – предел прочности при 30 %-й влажности, МПа;

K – перерасчетный (поправочный) коэффициент на 12 %-ю влажность, равный

- 0,4 – для березы и лиственницы;
- 0,445 – для граба, ивы, ели;
- 0,45 – для бука и сосны;
- 0,475 – для клена;
- 0,535 – для вяза и ясеня;
- 0,55 – для акации, дуба, липы и ольхи.

Результаты проведенных испытаний заносят (указывая породу древесины) в табл. 7.4 и дают окончательное заключение по прочности при сжатии вдоль волокон серии из 3 образцов с соответствующей влажностью.

Таблица 7.4

Прочность древесины при сжатии вдоль волокон

Показатель		Размерность	Данные испытаний		
			1	2	3
Линейные размеры поперечного сечения образца	ширина (a)	мм			
	толщина (b)	мм			
Площадь поперечного сечения образца ($a \times b$)		см ²			
Разрушающая нагрузка (P_{max})		Н			
Влажность образца (W)		%			
Предел прочности при сжатии вдоль волокон	σ_w	МПа			
	σ_{12w}	МПа			
Среднее значение предела прочности при сжатии	σ_w	МПа			
	σ_{12w}	МПа			

7.3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

Испытания проводят по методике ГОСТ 16483.3-84 с использованием следующего оборудования, приспособлений, инструментов: пресса гидравлического мощностью 10 т, приспособления для данного вида испытаний, штангенциркуля или микрометра, сушильного шкафа, весов квадрантных, бюксы, пилы-ножовки.

Для испытания берут образцы-балочки длиной 300 мм с поперечным сечением 20×20 мм. Годичные слои на торцевых поверхностях образцов должны быть направлены параллельно одной паре противоположных боковых ребер и перпендикулярно другой. Работа выполняется тремя бригадами, каждая из которых определяет соответствующий прочностной показатель серии из трех образцов при их определенной влажности.

Предварительно на радиальной поверхности карандашом отмечают середину длины образца и с погрешностью не более 0,1 мм штангенциркулем или

микрометром замеряют в этой точке его поперечное сечение: ширину (b) в радиальном и высоту (h) в тангентальном направлениях. После указанных измерений образец располагают на двух опорах приспособления, расстояние между которыми равно 240 мм, и в таком виде образец с приспособлением устанавливают на нижнюю плиту гидравлического пресса. Нагружение образца в тангентальном направлении осуществляют в *одной точке* через опору, установленную в середине пролета (l) – свободной длины балочки (рис. 7.2).

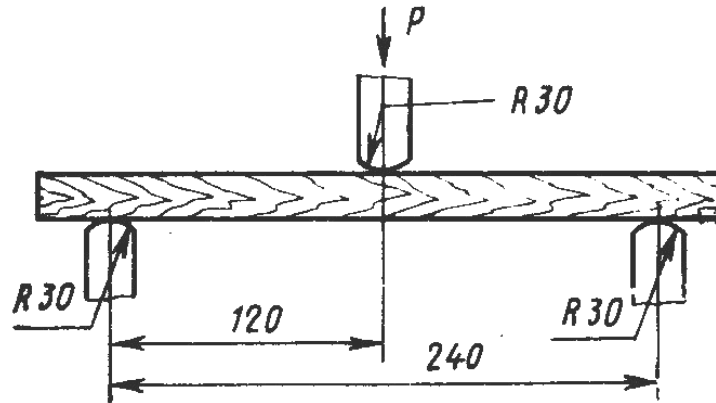


Рис. 7.2. Схема испытания древесины на статический изгиб

Средняя скорость нагружения должна соответствовать 5000 ± 1000 Н/мин. Испытание ведется до разрушения образца, в момент которого фиксируют в Н максимальную нагрузку (P_{max}).

Для установления влажности древесины в момент испытания из разрушенного образца вблизи излома вырезают пробу длиной 30 мм, которую помещают в предварительно взвешенную бюксу и после определения их совместной массы помещают в сушильный шкаф, где и высушивают до абсолютно сухого состояния по известной методике. После высушивания рассчитывают влажность в момент испытания образца.

С погрешностью не более 1 МПа вычисляют предел прочности при статическом изгибе (σ_w) при определенной влажности (W):

$$\sigma_w = \frac{3 P_{max} \cdot l}{2 b \cdot h^2} = \frac{3 P_{max} \cdot 24}{2 b \cdot h^2}, \quad (7.24)$$

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

Пересчет предела прочности на 12 %-ю нормализованную влажность проводят по формуле (7.22) при поправочном коэффициенте α , равном для всех древесных пород 0,04.

В случае влажности образца в момент испытания равной или превышающей 30 %-й пересчет прочности на нормализованную влажность производят по формуле (7.23) при значениях коэффициента K соответствующей определенной древесной породы.

Полученные при испытаниях данные заносят в табл. 7.5 и дают окончательное заключение по прочности при статическом изгибе серии из трех образцов с соответствующей влажностью.

Таблица 7.5

Прочность древесины при статическом изгибе

Показатель		Размерность	Данные испытаний		
			1	2	3
Расчетные размеры образца	свободная длина (l)	см	24	24	24
	ширина (b)	см			
	высота (h)	см			
Максимальная (разрушающая) нагрузка (P_{max})		Н			
Влажность (W)		%			
Предел прочности при статическом изгибе	σ_w	МПа			
	σ_{I2w}	МПа			
Среднее значение предела прочности	σ_w	МПа			
	σ_{I2w}	МПа			

Лабораторная работа 8

СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА (свойства, методы испытаний)

8.1. Общие сведения

К строительной керамике относят различные по виду и назначению строительные материалы и изделия, получаемые в процессе технологической переработки минерального глинистого сырья с последующим обжигом полуфабриката до камневидного состояния при высоких температурах.

В качестве основного сырья для производства строительной керамики используют различных цветов и оттенков каолиновые, монтмориллонитовые, гидрослюдистые глины, а также суглинки, глинистые сланцы, лессы и др. При этом для регулирования свойств глиняных формовочных масс в них вводят различные добавки – отошающие, порообразующие, пластифицирующие, плавни и

вещества, нейтрализующие влияние вредных включений и улучшающие окраску изделий – жидкое стекло, поваренную соль, различные красители и др.

Важнейшими физическими характеристиками глин, определяющими свойства будущих изделий, являются пластичность, связующая способность, водопоглощаемость, воздушная и огневая усадка, огнеупорность, которые обязательно учитываются при выборе технологии производства определенных видов продукции.

К положительным свойствам широкого ассортимента керамических изделий относятся достаточно высокая механическая прочность, негорючесть, химическая стойкость, долговечность, что позволяет использовать их при возведении всех частей промышленных и гражданских зданий и сооружений.

При этом необходим учет и таких отрицательных свойств строительной керамики, как ее хрупкость и малая деформативность.

По конструктивному назначению керамические строительные изделия подразделяют на стеновые, фасадные, кровельные, дорожные, санитарно-технические, кислото- и огнеупорные, теплоизоляционные, для полов, подземных коммуникаций, перекрытий, отделочные и заполнители для легких бетонов.

По структурным особенностям строения черепка различают строительную керамику *пористую* (не спекшиеся) – с землистым изломом, шероховатой поверхностью, с водопоглощением по массе от 5 до 20 % и *плотную* (спекшуюся) – с блестящим изломом, гладкой поверхностью водопоглощением по массе ниже 5 %.

По температуре плавления исходные глины и изделия на их основе подразделяются на *легкоплавкие* – с температурой плавления ниже 1350 °С; *тугоплавкие* – с температурой плавления 1350 – 1580 °С; *огнеупорные* – с температурой плавления 1580 – 2000 °С.

Настоящей лабораторной работой предусматривается ознакомление с методами испытаний широко используемого в строительной практике *кирпича глиняного обыкновенного* (рядового) и на основе полученных результатов исследования установление соответствия данного изделия требованиям стандарта.

Как кирпич, так и камни, отличающиеся от кирпича бóльшими размерами (табл. 8.1), используются в качестве стеновых материалов и для изготовления армокаменных конструкций. В зависимости от способа формования (пластического формования и полусухого прессования) эти стеновые материалы могут изготавливаться как полнотелыми (одинарный и утолщенный кирпич), так и пустотелыми (одинарный и утолщенный кирпич и камни).

Полнотелыми изделиями считается кирпич без пустот или с техническими пустотами, объем которых не превышает 13% от объема кирпича. Пустотелыми считаются кирпич и камни, объем пустот у которых более 13% (обычно 25-45%). При этом как форма, так и размеры, и количество пустот могут быть различными.

Таблица 8.1

Номинальные размеры различных видов керамических стеновых изделий

Вид изделий	Номинальные размеры, мм
-------------	-------------------------

	Длина (ℓ)	Ширина (b)	Толщина (h)
Кирпич керамический			
Одинарный	250	120	65
Утолщенный	250	120	88
Модульный одинарный	288	138	65
Модульный утолщенный	288	138	88
Камень керамический			
Обыкновенный	250	120	138
Модульный	288	138	138
Модульный укрупненный	288	288	88
Укрупненный	250	250	138

Полнотелые и пустотелые с вертикально расположенными пустотами изделия по прочности при сжатии изготавливают марок: 75; 100; 125; 150; 175; 200; 250 и 300, а с горизонтальным расположением пустот – 25; 35; 50; 100.

В зависимости от морозостойкости кирпич и камни керамические подразделяют на марки: F15; F25; F35 и F50. Условные обозначения керамических изделий включают в себя: название изделия (кирпич, камень), название исходного сырья (К – керамический), вида изделия (П – пустотелый, У – утолщенный, Г – с горизонтальным расположением пустот), марку по прочности, марку по морозостойкости, номер стандарта. Например:

- кирпич К-100 (25) ГОСТ 530-95 – кирпич керамический полнотелый одинарный, марки по прочности 100, по морозостойкости F25;
- кирпич КП-150 (25) ГОСТ 530—95 – кирпич керамический пустотелый утолщенный, марки по прочности 150, по морозостойкости F25;
- камень К-100 (15) ГОСТ 530-95 – камень керамический укрупненный с горизонтальным расположением пустот, марки по прочности 50, по морозостойкости F15;
- камень КУГ-50 (15) ГОСТ 530-95 – камень керамический укрупненный с горизонтальным расположением пустот, марки по прочности 50, по морозостойкости F15.

8.2. Методики определения свойств кирпича

При оценке качества кирпича в лаборатории устанавливают следующие характеристики: показатели внешнего вида и геометрических параметров, качество обжига (недожог, пережог), предел прочности при сжатии и изгибе, содержание известковых включений, водопоглощение и морозостойкость.

8.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА КИРПИЧА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ВНЕШНЕГО ВИДА И ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Для контроля качества кирпича по показателям внешнего вида и геометрическим параметрам используют стальной угольник, металлическую линейку, штангенглубиномер.

При этом устанавливаются размеры и количество на одном изделии таких дефектов, как отбитости углов, притупленности ребер, наличие трещин определенной протяженности. Результаты контролируемых параметров заносят в табл. 8.2 и сравнивают с требованиями ГОСТ 530-95.

Глубину отбитостей и притупленностей углов и ребер измеряют при помощи угольника и линейки по перпендикуляру от вершины угла или ребра, образованного угольником до поврежденной поверхности (рис. 8.1а). Для определения степени повреждения ребер измеряют длину и глубину каждого дефекта (рис. 8.1б).

Таблица 8.2

Оценка качества кирпича по показателям внешнего вида

Показатель	Допустимое число дефектов на 1 изделие	Данные контроля		
		1	2	3
Отбитости углов глубиной от 10 до 15 мм	2			
Отбитости и притупленности ребер глубиной не более 10 мм и длиной от 10 до 15 мм	2			
Трещины протяженностью до 30 мм по постели полнотелого кирпича и пустотелых изделий не более чем до первого ряда пустот (глубиной на всю толщину кирпича)	на ложковой грани	1		
	на тычковой грани	1		

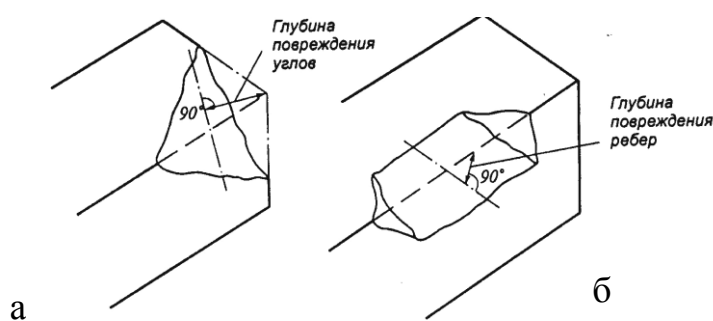


Рис. 8.1. Измерение дефектов:

а – отбитости и притупленности углов; б – отбитости ребер

Протяженность трещины по постели кирпича измеряют линейкой от наиболее удаленной точки трещины до ее пересечения с ребром грани (ложковой или тычковой), через которую она проходит (рис. 8.2). Кроме указанных дефектов не допускается наличие недожженных и пережженных изделий и карбо-

натных включений, вызывающих разрушение поверхностей кирпича и отколы глубиной более 6 мм.

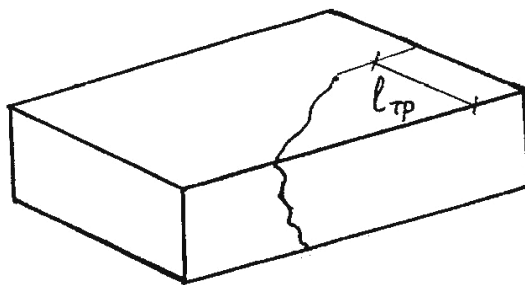


Рис. 8.2. Определение длины трещины

Недожог связан с обжигом сырца при пониженной температуре. В данном случае имеющий светло-розовую окраску кирпич отличается от нормально обожженного с повышенным водопоглощением, пониженной прочностью, глухим звуком при постукивании по нему молотком. В изломе могут присутствовать участки необожженной глины.

Пережженный кирпич, как правило, имеет бурый цвет, отличается оплавленной и вспученной поверхностью и обычно деформирован, что исключает использование его в строительных работах.

Карбонатные включения, содержащиеся в исходном сырье, при обжиге сырца переходят в воздушную известь (CaO), которая при контакте с водой гасится с увеличением начального объема в 2,5 раза, что и приводит к разрывам керамического черепка различной глубины. Наличие карбонатных включений (дутиков) устанавливают пропариванием изделий, не подвергавшихся до этого воздействию влаги.

Испытуемые образцы укладывают на решетку, установленную в сосуд с крышкой, под решетку наливают воду и при закрытой крышке кипятят ее в течение одного часа. Затем в течение 4 часов образцы в закрытом сосуде охлаждаются, после чего осматривают. На поверхности изделий допускается наличие отколов по наибольшему измерению от 3 до 6 мм числом не более 3 шт.

Приемку изделий по показателям внешнего вида проводят по двуступенчатому нормальному плану контроля (табл. 8.3), при этом объем выборки, приемочные и браковочные числа должны соответствовать указанному плану контроля.

Партию принимают, если количество дефектных изделий в выборке для первой ступени меньше или равно приемочному числу A_c .

Партию не принимают, если количество дефектных изделий больше или равно браковочному числу R_c для первой ступени контроля.

Таблица 8.3

Нормальный план контроля приемки изделий

Объем партии изделия	Степень контроля	Объем выборки	Общий объем выборки	Приемочное число A_c	Браковочное число R_c
10001 – 35000	I	80	80	7	11

	II	80	160	18	19
35000 – 150000	I	125	125	11	16
	II	125	250	26	27
Свыше 150000	I	125	125	11	16
	II	125	250	26	27

Если количество дефектных изделий в выборке для первой ступени контроля больше приемочного числа A_c , но меньше браковочного числа R_c , переходят к контролю второй ступени, отбирая выборку того же объема, что и на первой ступени.

Партию *принимают*, если общее количество дефектных изделий в выборках первой и второй ступени меньше или равно приемочному числу A_c , если оно равно или больше браковочного числа R_c , на второй ступени контроля – партию *не принимают*.

Из выборки изделий, *соответствующих* требованиям по внешнему виду, отбирают образцы для оценки следующих показателей: размеров и правильности формы – 24 образца; наличия известковых включений – 5 образцов; массы и водопоглощения – 3 образца; предела прочности при сжатии – 10 образцов (или 10 парных половинок); предела прочности при изгибе – 5 образцов; морозостойкости – 5 образцов.

8.2.2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КИРПИЧА ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Для проведения испытаний используют металлическую линейку и стальной угольник. Размеры изделий устанавливают с погрешностью до 1 мм. Замеры длины и ширины производят в трех местах – по ребрам и середине постели, а толщины – в середине тычка и ложка. За окончательный результат принимают среднее арифметическую величину из указанных измерений. Отклонение от перпендикулярности граней изделия, отнесенное к ширине образца – 120 мм, определяют замером величины максимального зазора между тычком и внутренней кромкой стального угольника (рис. 8.3), приложенного к ложковой поверхности.

Результаты проведенных замеров заносят в табл. 8.4 и сравнивают с соответствующими требованиями ГОСТ. Если в отобранной партии изделий окажется одно, не соответствующее требованиям стандарта, то эту партию принимают, а если два – она приемке не подлежит.

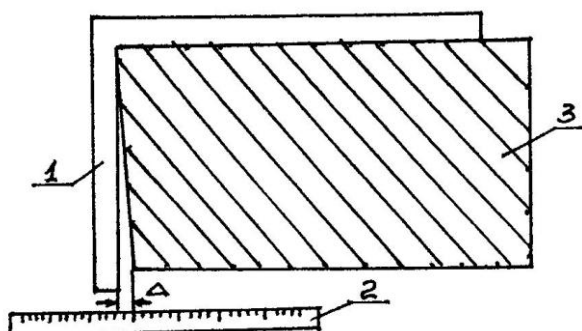


Рис. 8.3. Измерение отклонений от перпендикулярности граней изделий

Таблица 8.4

Оценка качества кирпича по геометрическим параметрам

Показатель		Допускаемые значения ГОСТ 530-95	Данные испытаний		
			1	2	3
Отклонение от номинальных размеров, мм	по длине	± 5			
	по ширине	± 4			
	по толщине	± 3			
Отклонение от перпендикулярности граней, мм		± 3			

8.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ КИРПИЧА

Согласно требованиям ГОСТ 530-95, масса кирпича в высушенном состоянии не должна превышать 4,3 кг. Для проведения испытаний используют сушильный шкаф, весы торговые циферблатные.

Образцы кирпича в количестве 3 штук высушивают до постоянной массы при температуре 105 ± 5 °С в сушильном шкафу, периодически взвешивая с интервалом не менее 4 ч. Массу испытуемых образцов считают постоянной, если разница в результатах двух последовательных взвешиваний в процессе высушивания не будет превышать 5 г. Перед каждым очередным взвешиванием кирпич охлаждается. За окончательный результат принимают среднеарифметическое значение испытаний трех образцов.

8.2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ КИРПИЧА

Водопоглощение непосредственно связано с относительным содержанием в материале *открытых*, доступных для воды, пор, а величина водопоглощения непосредственно влияет на морозостойкость и долговечность кирпича как стенового материала. Мерой водопоглощения является выраженное в процентах отношение массы воды, поглощенной образцом при полном насыщении, к его массе в сухом состоянии (водопоглощение по массе) и к объему (водопоглощение по объему). Степень водопоглощения кирпича устанавливают не менее чем на трех образцах, предварительно высушенных до постоянной массы. В соответствии с ГОСТ 530-95 водопоглощение по массе должно быть не менее 8 % для полнотелого кирпича и не менее 6 % для пустотелого.

Для проведения испытаний используют металлический сосуд (ванна) с решеткой, на которую устанавливают испытуемые образцы, сушильный шкаф; торговые циферблатные весы.

Предварительно измеренные и высушенные до постоянной массы образцы устанавливают в один ряд по высоте с зазорами между ними не менее 2 см на решетку сосуда, заполненного водой с температурой 20 ± 5 °С.

Уровень воды должен быть выше верха образцов на 2 – 10 см (рис. 8.4). В таком положении кирпич выдерживают в воде 48 ± 1 ч, после чего вынимают из ванны, обтирают влажной тканью и взвешивают. Массу воды, вытекшей из образца на чашку весов, включают в массу насыщенного водой образца.

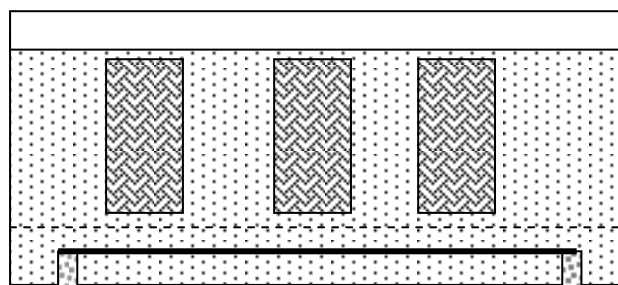


Рис. 8.4. Схема испытаний

Взвешивание каждого образца должно быть закончено не позднее 2 мин после его выемки из ванны.

Водопоглощение вычисляют по массе (W_m) и объему (W_v) с погрешностью до 1 %:

$$W_m = \frac{m_1 - m}{m} \times 100 ; \quad (8.1)$$

$$W_v = \frac{m_1 - m}{V} \times 100 , \quad (8.2)$$

где m – масса сухого образца, г;
 m_1 – масса насыщенного водой образца, г;
 V – объем сухого образца, см³.

Результаты испытаний заносят в табл. 8.5 и делают заключение по определяемому параметру, в том числе по величине коэффициента насыщения пор (K_n), косвенно оценивают морозостойкость кирпича. Коэффициент насыщения рассчитывают по формулам

$$K_n = \frac{W_v}{\Pi_u} , \quad (8.3)$$

где W_v – водопоглощение по объему, %;
 Π_u – истинная пористость, %;

$$\Pi_u = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right) \times 100 , \quad (8.4)$$

где ρ_o – средняя плотность кирпича, г/см³;
 ρ – истинная плотность кирпича, г/см³.

Таблица 8.5

Водопоглощение кирпича

Показатель	Размер-	Данные испытаний
------------	---------	------------------

		ность	1	2	3
1	2	3	4	5	6
Линейные размеры образца	длина (ℓ)	см			
	ширина (b)	см			
	высота (h)	см			
Объем образца (V)		см ³			
Длительность водонасыщения		ч	48	48	48
Масса образца	сухого (m)	г			
	насыщенного (m_l)	г			
Водопоглощение	по массе (W_m)	%			
	по объему (W_v)	%			

Окончание табл. 8.5

1	2	3	4	5	6
Плотность	средняя (ρ_o)	г/см ³			
	истинная (ρ)	г/см ³			
Пористость истинная (P_u)		%			
Коэффициент насыщения (K_n)		-			
Среднее значение коэффициента насыщения		-			

8.2.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КИРПИЧА

Основными механическими характеристиками кирпича, позволяющими определить его марку, являются устанавливаемые прямыми испытаниями пределы прочности при сжатии ($R_{сж}$) и изгибе ($R_{изг}$).

Для проведения каждого вида этих испытаний отбирают образцы кирпича, удовлетворяющие требованиям стандарта по внешнему виду и размерам. Основным оборудованием, используемым для установления марочных показателей кирпича являются гидравлические прессы соответствующей мощности. Кроме этого необходимо иметь металлические линейки, а для определения предела прочности при изгибе специальное приспособление с двумя опорами, расположенными на расстоянии 200 мм друг от друга.

Определение предела прочности при сжатии (ГОСТ 8462-85)

Предел прочности при сжатии определяют на 5 образцах, состоящих либо из двух половинок кирпича, либо из целых изделий. В первом случае отобранные для испытания кирпичи распиливают по ширине дисковой пилой на две равные части или раскалывают на специальном оборудовании. Допускается также использовать половинки кирпича, полученные при его испытании на изгиб.

Перед установкой на плиту пресса половинки кирпича полусухого прессования укладывают постелями друг на друга так, чтобы поверхности распила или раскола каждой из них были направлены в противоположные стороны (рис. 8.5).

Поскольку у кирпича пластического формования опорные грани (постель), соприкасающиеся с поверхностями плит гидравлического пресса, зачастую имеют существенные отклонения от параллельности, то при подготовке образцов к испытаниям их верхняя и нижняя поверхности выравниваются цементно-песчаным раствором, которым также склеиваются друг с другом либо половинки, либо целые кирпичи.

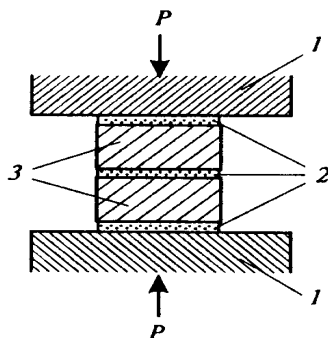


Рис. 8.5. Схема испытания кирпича на сжатие при определении его марки по прочности:

1 – плита пресса; 2 – выравнивающий материал; 3 – кирпич

Раствор изготавливается из равных по массе частей цемента марки 400 и песка, просеянного через сито №1,25 при $V/C=0,4 \div 0,42$.

Предварительно кирпич или его половинки погружают на 1 мин в воду. Затем на стеклянную или металлическую пластинку укладывают лист бумаги, потом слой раствора толщиной не более 5 мм и на него – один целый кирпич или его половинку. Второй кирпич или половинку склеивают друг с другом очередным слоем раствора, его излишки с боковых поверхностей образца снимают шпателем и на них загибают края бумаги.

В таком положении образец выдерживают в течение 30 мин, после чего переворачивают на 180 градусов и в таком же порядке выравнивают другую опорную поверхность. Отклонение от параллельности опорных поверхностей образца, определяемое по максимальной разности двух его высот, не должно превышать 2 мм.

Подготовленные образцы до момента испытания выдерживают трое суток в помещении при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности воздуха 60 – 80 %.

Кирпич полусухого прессования подвергают испытанию, не выравнивая поверхности образцов цементным раствором.

Подготовленные к испытанию образцы устанавливают в центре плиты гидравлического пресса предварительно замерив стальной линейкой размеры по месту соединения половинок или целого кирпича и, перемножая их, определяют с точностью до 1 см² рабочую площадь поперечного сечения образца.

Нагружение образца должно возрастать со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20 – 60 с с момента начала испытаний.

Предел прочности при сжатии ($R_{сж}$) вычисляют с точностью до 0,1 МПа (1 кгс/см²) как *среднее арифметическое* значение результатов испытаний 5 образцов, обязательно фиксируя при этом *наименьшее* значение предела прочности отдельного образца:

$$R_{\text{cnc}} = \frac{P_{\text{max}}}{F}, \quad (8.5)$$

где P_{max} – максимальная разрушающая нагрузка, кН (кгс);

F – площадь поперечного сечения образца. м^2 (см^2).

При испытании на сжатие двух целых кирпичей толщиной 88 мм или двух половинок, полученные значения пределов прочности умножают на коэффициент 1,2. Результаты испытаний заносят в табл. 8.6.

Таблица 8.6

Определение предела прочности кирпича при сжатии

Пресс: гидравлический мощность: Т

№№ образцов	Линейные размеры рабочей площади		Площадь поперечного сечения, F , см ²	Разрушающая нагрузка, P_{max} , кН, кгс	Предел прочности при сжа- тии, $R_{сж}$, МПа, кгс/см ²	Средний предел прочности, R_{cp}	Наименьший отдельного образца, R_{min}
	a , см	b , см					
1							
2							
3							
4							
5							

Определение предела прочности при изгибе (ГОСТ 8462-85)

Предел прочности кирпича при изгибе определяют испытаниями целых изделий. Для проведения испытаний используют: пресс гидравлический соот-

ветствующей мощности, линейку металлическую, приспособление для испытания образца на изгиб.

При подготовке к испытаниям кирпича пластического формования в местах установки образца на опоры и приложения нагрузки из цементно-песчаного раствора наносят полосы шириной 20 – 30 мм и толщиной не более 5 мм (рис. 8.6).

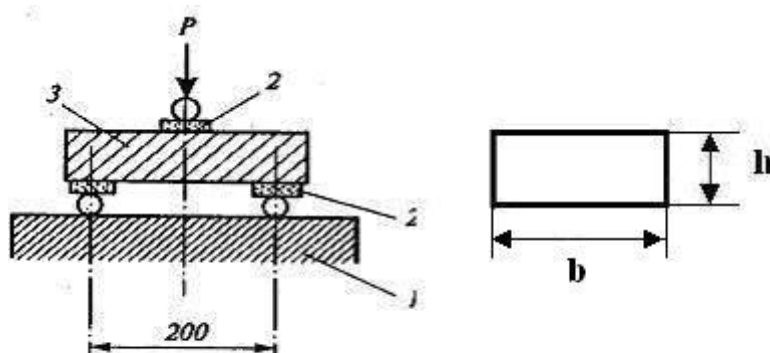


Рис. 8.6. Схема испытания кирпича на изгиб при определении его марки по прочности:

1 – плита прессы; 2 – выравнивающий материал; 3 – кирпич

Кирпич с несквозными пустотами устанавливают на опорах так, чтобы пустоты располагались в растянутой зоне образца. Керамический кирпич полусухого прессования испытывают на изгиб без использования растворных прокладок.

Перед испытаниями в середине образца металлической линейкой измеряют с погрешностью до 1 мм его ширину (b) и высоту (h) без учета толщины полосок и устанавливают плашмя под пресс на две опоры, расположенные на расстоянии 200 мм одна от другой. После этого в середине противоположной плоскости помещают опору, через которую производят нагружение образца со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20 – 60 с после начала испытаний.

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ (МПа, кгс/см²) вычисляют с точностью до 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) как среднее арифметическое результатов испытаний *пяти* кирпичей. При этом фиксируют наименьшее значение предела прочности одного образца испытываемой серии.

$$R_{изг} = \frac{2P_{max}l}{2bh^2}, \quad (8.6)$$

где P_{max} – разрушающая нагрузка, кН (кгс);
 l – расстояние между опорами (20 см);
 b – ширина кирпича, см;
 h – высота кирпича, см.

Результаты испытаний заносят в табл. 8.7.

Таблица 8.7

Определение предела прочности кирпича при изгибе

№ образца	Расчетные размеры, см			Разрушающая нагрузка P_{max} , кН, кгс	Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа, кгс/см ²	Средний предел прочности R_{cp}	Наименьший отдельного образца R_{min}
	l	b	h				
1							
2							
3							
4							
5							

Полученные значения среднего и минимального пределов прочности при сжатии и изгибе сравнивают с требованиями ГОСТ 530-95 (табл.8.8) и окончательно устанавливают марку испытуемого кирпича.

Таблица 8.8

Марочные показатели различных видов керамического кирпича

Марки изделий	Предел прочности не менее, МПа (кгс/см ²)							
	при сжатии		при изгибе					
	всех видов изделий		полнотелого кирпича пластического формования		кирпича полусухого прессования и пустотелого кирпича		утолщенного кирпича	
	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца	средний для 5 образцов	наименьший для отдельного образца
300	30 (300)	25 (250)	4,4 (44)	2,2 (22)	3,4 (34)	1,7 (17)	2,9 (29)	1,5 (15)
250	25 (250)	20 (200)	3,9 (39)	2,0 (20)	2,9 (29)	1,5 (15)	2,5 (25)	1,3 (13)
200	20 (200)	17,5 (175)	3,4 (34)	1,7 (17)	2,5 (25)	1,3 (13)	2,3 (23)	1,1 (11)
175	17,5 (175)	15,0 (150)	3,1 (31)	1,5 (15)	2,3 (23)	1,1 (11)	2,1 (21)	1,0 (10)
150	15,0 (150)	12,5 (125)	2,8 (28)	1,4 (14)	2,1 (21)	1,0 (10)	1,8 (18)	0,9 (9)
125	12,5 (125)	10,0 (100)	2,5 (25)	1,2 (12)	1,9 (19)	0,9 (9)	1,6 (16)	0,8 (8)

100	10,0 (100)	7,5 (75)	2,2 (22)	1,1 (11)	1,6 (16)	0,8 (8)	1,4 (14)	0,7 (7)
75	7,5 (75)	5,0 (50)	1,8 (18)	0,9 (9)	1,4 (14)	0,7 (7)	1,2 (12)	0,6 (6)

Использованная литература

1. ГОСТ 125-79. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
2. ГОСТ 23789. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
3. ГОСТ 310-76. Цементы. Методы испытаний.
4. ГОСТ 9179-77. Известь строительная. Технические условия.
5. ГОСТ 22688-77. Известь строительная. Методы испытаний.
6. ГОСТ 530-95. Кирпич и камни керамические. Технические условия.
7. *Попов И.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В.* Оценка качества строительных материалов. – М.: Высшая школа, 2004. -288 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа 1. Общие свойства строительных материалов и методы их определения.....	3
1.1. Общие сведения.....	3
1.2. Основные физические свойства материалов.....	4
1.2.1. Плотность.....	4
1.2.2. Пористость материалов.....	10
1.2.3. Определение водопоглощения.....	12
1.3. Прочность материалов и факторы ее определяющие.....	13
Лабораторная работа 2. Природные каменные материалы (состав, свойства, применение в строительстве).....	17
2.1. Общие сведения.....	17
2.2. Изучение свойств породообразующих минералов.....	18
2.3. Изучение свойств горных пород.....	20
2.4. Применение природных каменных материалов в строительстве.....	23
Лабораторная работа 3. Известь строительная воздушная (состав, свойства, методы испытаний).....	28
3.1. Общие сведения.....	28
3.2. Отбор и подготовка проб.....	29
3.3. Методы испытаний.....	30
3.3.1. Определение суммарного содержания активных оксидов кальция и магния ($\text{CaO}+\text{MgO}$).....	30
3.3.2. Определение содержания непогасившихся зерен.....	31
3.3.3. Определение времени гашения извести.....	32
3.3.4. Определение степени дисперсности порошкообразной извести.....	33
3.3.5. Определение равномерности изменения объема извести при твердении.....	34
Лабораторная работа 4. Гипсовые вяжущие.....	35
4.1. Общие сведения.....	35
4.2. Отбор и подготовка проб для испытаний.....	36
4.3. Методы испытаний гипсовых вяжущих.....	36
4.3.1. Определение тонкости помола.....	36
4.3.2. Определение стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста.....	37
4.3.3. Определение сроков схватывания гипсового теста стандартной консистенции.....	39
4.3.4. Определение марки строительного гипса.....	41
Лабораторная работа 5. Цемент (свойства, методы испытаний).....	44
5.1. Общие сведения.....	44
5.2. Отбор проб и общие требования при испытании.....	46
5.3. Методы испытаний цемента.....	46
5.3.1. Определение истинной плотности(ρ_n) цемента.....	46
5.3.2. Определение насыпной плотности (ρ_H).....	48
5.3.3. Определение тонкости помола цемента.....	49
5.3.4. Определение нормальной густоты цементного теста.....	49
5.3.5. Определение сроков схватывания цемента.....	51
5.3.6. Определение равномерности изменения объема цемента при твердении.....	52
5.3.7. Определение марки (активности) цемента.....	54

Лабораторная работа 6. Битумы нефтяные (свойства, методы испытаний)	58
6.1 Общие сведения.....	58
6.2. Методы испытания нефтяных битумов.....	60
6.2.1. Определение структурной вязкости (пенетрации) битумов.....	60
6.2.2. Определение растяжимости (дуктильности) битума.....	62
6.2.3. Определение температуры размягчения битума.....	63
6.3. Жидкие нефтяные дорожные битумы (классификация, свойства, методы испытаний).....	66
6.3.1. Определение условной вязкости жидкого битума (С).....	67
6.3.2. Определение состава жидкого нефтяного битума заданной вязкости.....	69
Лабораторная работа 7. Лесные материалы (древесина) (свойства, методы испытаний)	70
7.1. Общие свойства.....	70
7.2. Методы определения основных физических свойств древесины.....	71
7.2.1. Определение влажности древесины	71
7.2.2. Определение средней плотности древесины	72
7.2.3. Определение усушки и разбухания древесины.....	75
7.3. Методы определения механических свойств древесины.....	77
7.3.1. Определение прочности древесины при сжатии вдоль волокон.....	78
7.3.2. Определение прочности древесины при статическом изгибе.....	80
Лабораторная работа 8. Строительная керамика (свойства, методы испытаний)	82
8.1. Общие свойства.....	82
8.2. Методики определения свойств кирпича.....	84
8.2.1. Определение качества кирпича по показателям внешнего вида и геометрическим параметрам.....	84
8.2.2. Контроль качества кирпича по геометрическим параметрам.....	87
8.2.3. Определение массы кирпича.....	88
8.2.4. Определение водопоглощения кирпича.....	88
8.2.5. Определение механических характеристик кирпича.....	90
Использованная литература	94

Учебное издание

Коллектив авторов

Лабораторный практикум по оценке свойств строительных материалов
Часть 1

Учебное пособие

Темплан 2007 г., поз. 18

Редактор Т.М. Климчук
Компьютерная верстка Н.П. Соловьевой

Подписано в печать 04.12.07. Формат 60 × 84/16. Бумага писчая. Ризограф.
Усл.п.л. 5,8. Уч.-изд. л. 7,6. Тираж 100 экз. Заказ 426.

Редакционно-издательский центр РГСУ
344022, Ростов н/Д, ул. Социалистическая, 162