

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет
Кафедра строительного производства

ФИЗИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к лабораторным работам

Составители
Н. Н. ТУР
А. А. ШЛАПАК

Владимир 2005

УДК 691
ББК 38.3
Ф50

Рецензент
Доктор технических наук, профессор
декан архитектурно-строительного факультета
Владимирского государственного университета
Б.Г. Ким

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Физические и механические свойства строительных материалов: метод. указания к лаб. работам / сост. : Н. Н. Тур, А. А. Шлапак ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2005. – 52 с.

Излагаются методы определения физических и механических свойств строительных материалов. По полученным данным проводится анализ материала с целью правильного применения его в строительстве.

Построены в соответствии с учебной программой курса и служат руководством при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение».

Предназначены для студентов архитектурно-строительного факультета всех форм обучения.

Табл. 20. Ил. 7. Библиогр.: 8 назв.

УДК 691
ББК 38.3

В в е д е н и е

Практическая деятельность инженера-строителя связана с использованием различных материалов с определенными свойствами, присущими им. Поэтому он должен уметь квалифицированно контролировать качество продукции предприятий строительной индустрии. Приобретению этих навыков способствуют лабораторные работы по курсу “Материаловедение”.

Материаловедение – это наука, изучающая связь строения, состава и свойств материалов, а также закономерности их изменения при физико-химических, физических, механических и других воздействиях.

Знание строения материала необходимо для понимания его свойств и в конечном итоге для решения практических вопросов, где и как применять материал, чтобы получить наибольший технико-экономический эффект.

Строение материала изучают на трех уровнях:

1. **Макроструктура материала** – строение, видимое невооруженным глазом;
2. **Микроструктура материала** – строение, видимое в микроскоп;
3. **Внутреннее строение веществ**, составляющих материал на молекулярно-ионном уровне, изучаемом методами рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии и т. д.

Макроструктура твердых строительных материалов может быть: конгломератная, ячеистая, мелкопористая, волокнистая, слоистая, рыхлозернистая (порошкообразная).

Искусственные конгломераты – это обширная группа, объединяющая бетоны различного вида, ряд керамических и других материалов.

Ячеистая структура характеризуется наличием макропор, свойственным газо- и пенобетонам, ячеистым пластмассам.

Мелкопористая структура присуща керамическим материалам, ее получают путем введения выгорающих добавок.

Волокнистая структура свойственна древесине, стеклопластикам, изделиям из минеральной ваты и др. Ее особенностью является резкое различие прочности, теплопроводности и других свойств вдоль и поперек волокон.

Слоистая структура отчетливо выражена у рулонных, листовых, клееных материалов, в частности у пластмасс со слоистым наполнителем.

Рыхлозернистые материалы – это заполнители для бетона, зернистые и порошкообразные материалы для мастичной теплоизоляции, засыпок.

Микроструктура веществ, составляющих материал, может быть кристаллическая и аморфная. Кристаллические и аморфные формы нередко являются лишь различными состояниями одного и того же вещества. Примером служат кристаллический кварц и различные аморфные формы кремнезема. Такое явление, сопровождающееся изменением объема называется полиморфизмом. Важными свойствами кристаллического вещества являются определенные температура плавления и геометрическая форма кристаллов каждой его модификации.

Свойства монокристаллов – механическая прочность, электропроводность и другие – в разных направлениях формы строения кристаллической решетки неодинаковые. Явление *анизотропии* является следствием особенностей внутреннего строения кристаллов.

В строительстве применяются поликристаллические каменные материалы, в которых разные кристаллы ориентированы беспорядочно. Такие

материалы рассматриваются как *изотропные* по своим строительно-техническим свойствам.

Строительный материал характеризуется физическими, механическими, химическими, биологическими и технологическими свойствами.

Свойства материалов в значительной степени определяются их составом и поровой структурой. Поэтому, чтобы правильно применять строительный материал, необходимо изучить вышеупомянутые свойства.

В данном издании приводятся методы определения физических и механических свойств строительных материалов.

К выполнению лабораторных работ студенты должны приступать только после изучения соответствующих теоретических вопросов по рекомендуемой преподавателем литературе.

Отчеты по лабораторным работам следует оформлять в тетрадях. При оформлении работ необходимо отразить:

- наименование работы и цель;
- методику испытаний с указанием исследуемых материалов, приборов, оборудования, последовательности выполняемых операций;
- первичные данные опытов;
- обработку результатов эксперимента;
- результаты испытаний оформить в виде таблиц и графиков;
- анализ результатов и выводы по работе.

Отчет по работе выполняет каждый студент самостоятельно, независимо от количества студентов, работающих по заданию.

Защита отчетов является составной частью лабораторных занятий. К защите студенты готовятся в часы самостоятельной подготовки по контрольным вопросам, указанным преподавателем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Цель работы: научиться определять истинную, среднюю, насыпную плотности, пустотность, пористость, влажность и водопоглощение строительных материалов.

1.1. Определение истинной плотности пикнометрическим методом

Совокупность материальных частиц (ионов, атомов и молекул), из которых состоит испытываемое вещество, составляет его массу. Эта масса занимает часть пространства, т.е. обладает определенным объемом. *Отношение массы вещества к занимаемому объему называется плотностью.* Плотность вещества ρ , г/см³, измеряется количеством массы m , г, заключенной в единице объема V , см³:

$$\rho = m/V. \quad (1)$$

Для газов и паров, обладающих малой плотностью, она выражается в граммах на литр. Плотностью, близкой к теоретической, обладают металлы, стекло, некоторые полимеры и пластмассы.

Методика определения плотности достаточно разнообразна, и выбор ее зависит в первую очередь от агрегатного состояния, исследуемого вещества. Наиболее простым и универсальным методом определения плотности вещества как в твердом, так и в жидком состоянии является пикнометрический способ.

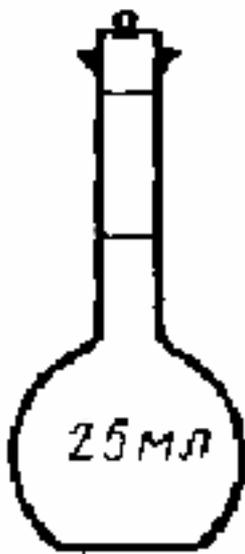


Рис. 1. Обычный пикнометр

Пикнометр (рис. 1) – это мерная колбочка вместимостью 5 – 100 мл, закрываемая сверху пришлифованной пробкой. Обычно в практике определения плотности жидкостей используют пикнометры вместимостью 25 – 100 мл.

Плотность тела определяют пикнометрическим способом. Для этого пикнометр тщательно моют, высушивают в сушильном шкафу, охлаждают в эксикаторе, взвешивают на электронных весах и получают массу пикнометра m_1 . Во взвешенный пикнометр через воронку или специальным совком насыпают из бюкса 10 – 15 г предварительно подготовленного испытуемого материала так, чтобы частицы его не прилипали к горлышку пикнометра. Пикнометр вместе с насыпанным в него порошком взвешивают на тех же электронных весах с прежней степенью точности и получают массу пикнометра с навеской m_2 .

Если испытываемое тело с водой не реагирует, то пикнометр с содержащимся в нем порошком наполняют примерно до половины дистиллиро-

ванной водой так, чтобы она полностью покрыла весь порошок. Для удаления заключенного в порошке воздуха заполненный пикнометр ставят на разогретую песчаную баню и нагревают примерно 30 мин с момента закипания воды в пикнометре. Затем пикнометр вместе с содержимым охлаждают до комнатной температуры и доливают дистиллированной водой до метки. Капли жидкости, приставшие к стенкам горлышка выше метки пикнометра, удаляют полоской фильтровальной бумаги. После этого пикнометр взвешивают на тех же электронных весах с прежней степенью точности и получают значение массы пикнометра, наполненного испытуемым телом с водой, m_3 . После этого содержимое пикнометра удаляют, пикнометр хорошо промывают, высушивают, наполняют до метки только водой, снова взвешивают и получают значение массы пикнометра с водой m_4 . Плотность тела, г/см^3 ,

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)\rho_{\text{ж}}}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}, \quad (2)$$

где $(m_2 - m_1)$ – масса навески, г; $(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)$ – масса воды, вытесненная навеской.

Истинную плотность материала определяют параллельно для двух навесок с погрешностью не более 0,01 г между результатами и вычисляют как среднее арифметическое.

1.2. Определение средней плотности

Средней плотностью называют отношение массы материала в естественном состоянии, т.е. вместе с порами и пустотами, к его объему. Среднюю плотность, кг/м^3 , вычисляют по формуле $\rho_0 = m/V$, где m – масса материала, кг; V – объем материала в естественном состоянии, м^3 .

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

От средней плотности материала в значительной мере зависят его физико-механические свойства, например, прочность и теплопроводность. Величину средней плотности материала используют при определении его пористости, массы и размера строительных конструкций при расчетах дорожного транспорта и подъемно-транспортного оборудования. Среднюю плотность определяют на образцах правильной и неправильной геометрической формы. От формы образца зависит метод определения средней плотности материала.

1.2.1. Определение средней плотности образца правильной геометрической формы

Для пористых материалов размер образца кубической формы не должен превышать $10 \times 10 \times 10$ см; для плотных – не менее $4 \times 4 \times 4$ см, у цилиндрических диаметр и высота должны быть соответственно не менее 7 и 14 см.

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

С помощью штангенциркуля определяют объем испытуемых образцов, каждую грань измеряют в трех местах: (a_1, a_2, a_3 ; b_1, b_2, b_3 ; h_1, h_2, h_3) по ширине и высоте, и за окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений каждой грани (рис. 2, а). На каждой из параллельных плоскостей образца цилиндрической формы проводят два взаимно перпендикулярных диаметра (d_1, d_2, d_3, d_4), затем измеряют их; кроме того, измеряют диаметры средней части цилиндра (d_5, d_6) в середине его высоты. За окончательный результат принимают среднее арифметическое шести измерений диаметра. Высоту цилиндра определяют в четырех местах (h_1, h_2, h_3, h_4) и за окончательный результат принимают среднее арифметическое четырех измерений (рис. 2, б).

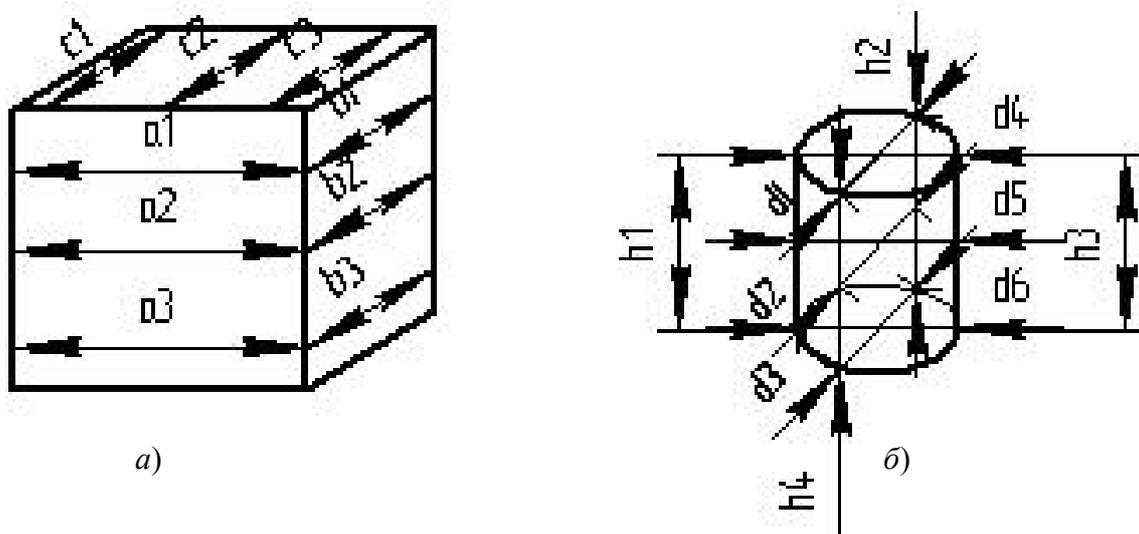


Рис. 2. Схема измерения объема образцов: а – кубической формы; б – цилиндрической формы

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

до 1 г. Объем образца V , имеющего вид куба или параллелепипеда, вычисляют по формуле, м^3 ,

$$V = a b c, \quad (3)$$

где a, b, c – средние значения размеров граней образца, м.

Объем образца цилиндрической формы вычисляют по формуле

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

где $\pi - 3,14$, d – средний диаметр цилиндра, h – средняя высота цилиндра, м. Зная объем и массу образца, по формуле $\rho_e = m/V$ определяют его среднюю плотность и вычисляют среднее арифметическое трех значений различных образцов. Результаты испытаний записывают в табл. 1.

Таблица 1

Номер опыта	Материал	Размеры образца, см				m , г	V , см^3	ρ_e г/ см^3	ρ_e кг/ см^3
		a	b	h	d				

1.2.2. Определение средней плотности методом гидростатического взвешивания

Сухой образец неправильной геометрической формы взвешивают на технических весах 1, затем парафинируют и снова взвешивают (рис. 3).

После этого его подвешивают на тонкой нити к крючку 4, закрепленного на левом конце коромысла гидростатических весов. Массу образца 3 уравнивают гирями, устанавливая их на правую чашку весов 6. Образец погружают в стакан с водой 2 так, чтобы он не касался стенок и дна (равновесие весов нарушается). Весы снова уравнивают, сняв с правой чашки часть гирь, и определяют массу образца в воде. Объемную массу образца вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m_1 - m}{\left(\frac{m_1 - m_2}{\rho_{\text{в}}}\right) - \left(\frac{m_1 - m_3}{\rho_{\text{п}}}\right)}, \quad (5)$$

где m – масса сухого образца, кг; m_1 – масса образца, покрытого парафином, кг; m_2 – масса образца, покрытого парафином в воде, кг; m_3 – плотность парафина, равная 930 кг/м^3 ; $\rho_{\text{п}}$ – значение, соответствующее объему

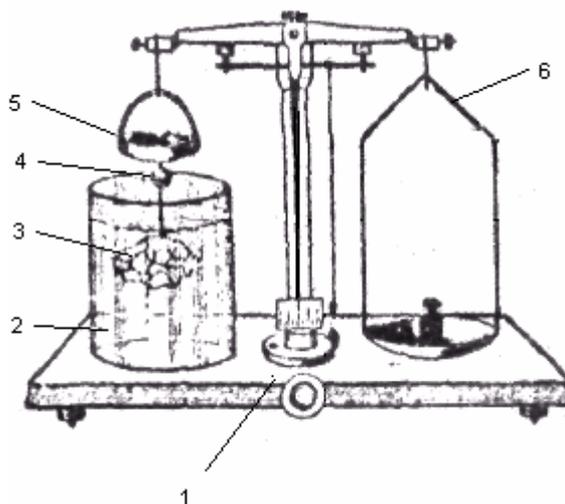


Рис. 3. Взвешивание образцов на гидростатических весах

образца, покрытого парафином, м³. Средняя плотность материала вычисляется как среднее арифметическое определение средней плотности трех-пяти образцов. Результаты записывают в табл. 2.

Таблица 2

Номер опыта	Масса сухого образца, кг	Масса образца, покрытого парафином, кг	Масса образца, покрытого парафином, в воде, кг	Значение, соответствующее объему образца, покрытого парафином, м ³

1.3. Определение насыпной плотности сыпучих материалов (цемента, гипса, песка и др.)

Для определения насыпной плотности сыпучих материалов используют простой прибор, который представляет собой стандартную воронку в виде усеченного конуса. Внизу конус переходит в трубку диаметром 20 мм с задвижкой. Под трубкой устанавливают заранее взвешенный мерный цилиндр вместимостью 1 л (1000 см³). Расстояние между верхом цилиндра и задвижкой должно быть 100 мм (рис. 4).

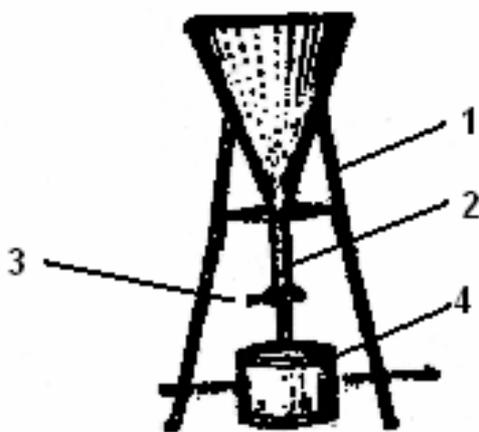


Рис. 4. Стандартная воронка:
1 – корпус; 2 – трубка;
3 – задвижка; 4 – мерный цилиндр

В воронку насыпают сухой исследуемый материал, затем открывают задвижку и заполняют цилиндр с избытком, закрывают задвижку и металлической или деревянной линейкой срезают от середины в обе стороны излишек материала вровень с краями цилиндра. При этом линейку держат вертикально, плотно прижимая к краям цилиндра. Необходимо, чтобы цилиндр был неподвижным, так как при толчках сыпучий материал может уплотниться, что повлечет увеличение насыпной плотности. Затем цилиндр взвешивают с точностью до 1 г. Испытание повторяют пять раз и объемную массу в рыхлом состоянии вычисляют как сред-

нее арифметическое пяти определений. Объемную массу определяют по формуле, кг/м³,

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (6)$$

где m_1 – масса цилиндра с материалом, кг; m_2 – масса цилиндра без материала, кг; V – объем цилиндра, м³.

Результаты испытаний заносят в табл. 3

Таблица 3

Номер опыта	Масса цилиндра с материалом m_1 , кг		Масса цилиндра без материала m_2 , кг	Объем цилиндра V , м ³
	Материал в рыхлонасыпном состоянии	Материал в уплотненном состоянии		

При транспортировании и хранении сыпучие материалы уплотняются, при этом их насыпная плотность увеличивается на 15 – 30 % по сравнению с рыхлонасыпным состоянием. Насыпную плотность материала в уплотненном состоянии определяют по приведенной выше методике, однако после заполнения цилиндра материалом его уплотняют вибрацией в течение 30 – 60 с на виброплощадке или постукиванием цилиндра с материалом о стол 30 раз. В процессе уплотнения материал досыпают, поддерживая некоторый избыток его в цилиндре. Затем избыток срезают, определяют массу материала в цилиндре и вычисляют насыпную плотность в уплотненном состоянии, кг/м³.

$$\rho_{\text{нас}}^{\text{упл}} = m/V, \quad (7)$$

1.4. Определение пустотности и пористости

Большинство твердых тел, в том числе и строительных материалов, находящихся в кусковом или в зернисто-рыхлом состоянии, содержат в своем составе некоторое количество газовоздушных включений, которые называют пустотами или порами.

Порами принято называть те газовоздушные включения, которые находятся внутри твердого тела и занимают в нем некоторый объем. По величине поры чрезвычайно разнообразны – от субкапиллярных (мельче 0,0002 мм) до сверхкапиллярных (свыше 0,5 мм и даже до нескольких миллиметров). Поры могут быть закрытыми, совершенно изолированными друг от друга и от внешней окружающей тело среды, и открытыми, которые сообщаются друг с другом и внешней средой.

Пустотами называют полости, заключенные между зернами рыхлонасыпанного зернистого материала (например, песка, щебня или гравия) и заполненные воздухом. Пустотностью зернистого материала принято на-

зывать отношение суммарного объема пустот ко всему объему, занимаемому материалом. Чтобы определить численное выражение степени пустотности зернистого материала, достаточно знать его плотность и объемно-насыпную массу в рыхлом или уплотненном состоянии. Величина пустотности:

$$V_{\text{пуст}} = (\rho_e - \rho_{\text{нас}}) / \rho_e, \text{ см}^3, \quad (8)$$

$$V_{\text{пуст}} = [(\rho_e - \rho_{\text{нас}}) / \rho_e] 100 \%, \quad (9)$$

где ρ_e – средняя плотность материала, г/см³; $\rho_{\text{нас}}$ – насыпная плотность материала в рыхлом или уплотненном состоянии.

Различают два вида пористости – истинную и кажущуюся.

Истинная пористость представляет собой отношение суммы объемов закрытых и открытых пор ко всему объему, занимаемому данным телом, %,

$$\Pi = [(V - V_M) / V] 100, \quad (10)$$

где V – объем тела, см³; V_M – объем массы тела, см³.

Зная истинную плотность тела и его объемную массу, определим, истинную пористость, г/см³ или %:

$$\text{Пор} = (\rho - \rho_e) / \rho \text{ или } \text{Пор} = [(\rho - \rho_e) / \rho] 100. \quad (11)$$

Кажущаяся пористость – отношение суммы объемов только открытых пор ко всему объему, занимаемому телом, %:

$$\Pi_{\text{каж}} = [(V_{\text{откр}} / V)] 100, \quad (12)$$

где $V_{\text{откр}}$ – объем открытых пор в теле, см³; V – объем, занимаемый телом, см³.

Чтобы определить величину кажущейся пористости, необходимо знать объем тела и суммарный объем открытых пор в нем. Объем тела V , см³, определяют экспериментально, зная его плотность и массу, рассчитывают по формуле

$$V = m / \rho_e, \quad (13)$$

где V – масса тела, г; ρ – плотность тела, г/см³.

Суммарный объем открытых пор определяют по величине водопоглощения или по поглощению телом какой-либо другой, не реагирующей с ним жидкостью.

Различают закрытую и открытую кажущиеся пористости. Закрытой пористостью называют выраженное в процентах отношение объема закрытых пор ко всему объему материала, %,

$$P_{\text{закр}} = (V_{\text{закр}}/V)100, \quad (14)$$

Открытая кажущаяся пористость — это отношение объема открытых пор ко всему объему материала, %

$$P_{\text{откр}} = (V_{\text{откр}}/V)100, \quad (15)$$

Сумма открытых и закрытых вместе взятых пор составляет общую пористость материала

$$P = P_{\text{зак}} + P_{\text{откр}}, \quad (16)$$

Величина открытой пористости материала определяется по его водопоглощению. Поэтому сначала определяют водопоглощение образца, затем его вытирают влажной тканью и взвешивают на весах Архимеда для определения его объема. Кажущаяся пористость, %

$$P_{\text{откр}} = \left[\frac{(m_1 - m)}{(m_1 - m_2)} \right] 100, \quad (17)$$

где m — масса сухого образца на воздухе, г; m_1 — масса образца, насыщенного водой, г; m_2 — масса насыщенного водой образца в воде, г.

Если испытываемый материал реагирует с водой и определить открытую пористость его в ней нельзя, для опыта используют другую нейтральную по отношению к материалу жидкость, например, керосин, толуол и т. д. В этом случае для определения объема образца его взвешивают на весах Архимеда в той же жидкости. Тогда открытая пористость, %,

$$P_{\text{откр}} = \left[\frac{(m_{1\text{H}} - m)}{(m_{1\text{H}} - m_{2\text{H}})} \right] 100 \quad (18)$$

где m — масса образца на воздухе, г; $m_{1\text{H}}$ — масса образца, насыщенного инертной жидкостью, г; $m_{2\text{H}}$ — масса образца, насыщенного инертной жидкостью в той же жидкости, г.

Закрытую пористость находят с помощью разности между величинами общей и открытой пористости.

Результаты определения записывают в табл. 4.

Таблица 4

Номер образца	Материал	m_2	m_{1H}	m_{2H}	$W, \%$	$P_{откр}$	$P_{зар}$	$P_{общ}$

Плотность и объемная масса некоторых строительных материалов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Материал	Плотность ρ г/см ³	Средняя плотность ρ_e , г/см ³
Бетон, приготовленный на гравии или щебне	2,6	2 – 2,5
Гудрон	0,95	0,94 – 0,95
Гипс	2,7	0,7 – 1,3
Древесина: дуб	1,65	0,7 – 0,9
сосна	1,6	0,5 – 0,6
Керамзитовый гравий	2,6	0,3 – 0,9
Кирпич: обыкновенный	2,7	1,6 – 1,9
силикатный	2,6	1,1 – 1,4
Мипора (органические, пластические массы)	1,5 – 1,7	0,015 – 0,020
Пенопласт	1,4	0,35 – 0,5
Пеностекло	2,6	0,3 – 0,5

1.5. Определение влажности и водопоглощения

Влажность – количество воды, поглощенное данным телом из окружающей среды и удерживаемое в нем. Влажность может быть капиллярной, адсорбционной, гидратной, или кристаллизационной, водой затворения и водой набухания. *Капиллярная влага* заполняет капилляры, субкапилляры и мелкие поры материала и удерживается в них капиллярными силами. Влага, впитываемая глинами, клеями и другими тонкодисперсными и коллоидно-дисперсными материалами, вызывающая их набухание, называется *водой набухания*. Влага, поглощаемая из воздуха поверхностью

частиц строительного материала, называется *адсорбционной*. Количество адсорбционной влаги зависит от влажности воздуха и от степени дисперсности и адсорбционных свойств материала. С их изменением меняется и величина адсорбционной влажности. Гидратной (кристаллизационной) влагой называется вода, которая входит в состав кристаллов, например, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и т. д. С удалением кристаллизационной воды кристалл разрушается. Удаление кристаллизационной воды в каждом отдельном случае протекает при строго определенных температурах. *Водой затворения* называют то ее количество, которое вводится из технических соображений в состав сырьевых, бетонных и растворных смесей, а также в состав керамических масс и всевозможных шихт для придания им соответствующей подвижности, пластичности, удобоукладываемости, связанности и т. д.

Высушивание материалов при 105 – 110 °С до постоянной массы сопровождается удалением из них всех видов влаги, в том числе и кристаллизационной, если температура разложения кристалла меньше 110 °С.

Влажность материала W , %, по отношению к массе сухого m_1 , г, или влажного m , г, образца рассчитывается соответственно по формулам:

$$W_c = [(m - m_1) / m_1] 100, \quad (19)$$

$$W_B = [(m - m_1) / m_1] 100. \quad (20)$$

В зависимости от влажности испытуемого материала и требуемой степени точности ее определения пользуются двумя методами.

1. Определение общей влажности. Общая влажность включает в себя естественную влажность материала, его воду затворения и гигроскопическую влагу. Общую влажность материала определяют при его разведке и добыче в карьере, составлении и испытании различных масс, сушке их при контроле в производстве и т. д. Для определения общей влажности испытуемый материал в количестве 10 – 100 г (в зависимости от предполагаемой влажности), взятый из средней пробы, измельчают до величины частиц 2 – 3 мм, помещают в предварительно высушенную и взвешенную с точностью до 0,001 г на технических весах фарфоровую чашку или алю-

миниевый бюкс. Затем материал в сушильном шкафу высушивают в течение 2 – 4 ч при температуре 110 °С до постоянной массы.

Содержание влаги определяют по формулам (19) и (20).

Для более быстрого и менее трудоемкого определения общей влажно-

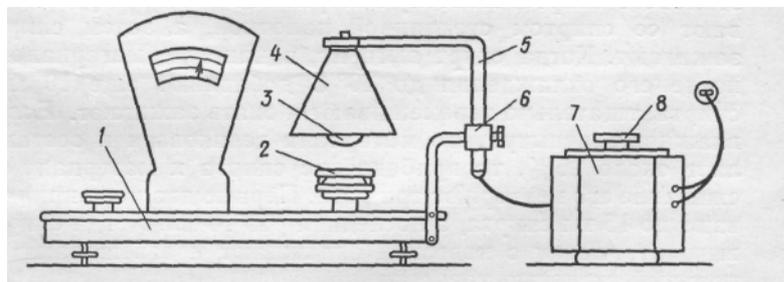


Рис. 5. Влагомер МХТИ

сти в производственных условиях применяют влагомер МХТИ (рис. 5). Он состоит из 200-граммовых весов 1 типа ВИД-2 с градуированной шкалой и инфракрасной лампы 3 мощностью 500 Вт, которая укреплена на штативе 5 и установлена в отражателе 4. Положение лампы фиксируется зажимом 6. На коромысло весов устанавливается чашка 2 с испытуемым материалом. Накал лампы регулируется трансформатором 7, который включается в сеть и дает возможность рукояткой 8 плавно регулировать напряжение вторичного переменного тока от 0 до 250 В. Шкала весов имеет две градуировки: верхняя указывает количество испарившейся влаги (%), а нижняя – абсолютную убыль массы материала (г).

Навеску предварительно измельченного до небольших комочков материала в количестве 20 г помещают на чашку 2 прибора под инфракрасную лампу. Затем рукояткой 8 включают трансформатор, постепенно увеличивая накал лампы так, чтобы поверхность материала нагревалась до температуры 110 °С. Температуру проверяют термометром, ртутный шарик которого периодически помещают на материал, находящийся в чашке. По мере высыхания навески материала стрелка прибора перемещается по шкалам, указывая одновременно количество испарившейся влаги и убыль материала по массе. Сушка считается законченной, если стрелка весов в течение 6 – 7 мин будет находиться в одном и том же положении. Отсчет по шкале записывают в журнал. В процессе определения чашку следует периодически встряхивать.

Иногда в лабораторных условиях для ускоренного определения влажности используют спиртовой метод, сущность которого заключается в следующем: в заранее взвешенную фарфоровую чашку помещают около 10 г исследуемого материала и взвешивают его вместе с чашкой с точностью до

0,01 г. В чашку наливают 15 мл 95%-го этилового спирта. Навеску материала в чашке перемешивают со спиртом стеклянной палочкой, а затем спирт зажигают. Когда спирт выгорит, в чашку с материалом после его охлаждения до 40 °С добавляют еще 10 мл спирта, тщательно перемешивают и опять зажигают. Если влажность испытуемого материала великовата и составляет около 25 %, то прибавление спирта к материалу и сжигание его повторяют три раза. Первые два раза приливают по 15 мл спирта, а последний раз – 10 мл. Когда спирт выгорит, чашку с навеской охлаждают и взвешивают с прежней степенью точности.

2. Определение гигроскопической влажности. Этот метод определения влажности применяется при химическом анализе. Для этого из предварительно измельченной воздушно-сухой пробы испытуемого материала отбирают примерно 1 – 2 г и помещают их в высушенный и заранее взвешенный бюкс. Навеску материала вместе с бюксом взвешивают на аналитических весах с точностью 0,0002 г, после чего помещают ее в сушильный шкаф и сушат при 105 – 110 °С в течение 2 ч. Затем бюкс с навеской охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры и повторно взвешивают с прежней степенью точности. Снова повторяют процесс сушки в течение 30 мин, затем охлаждают в эксикаторе и опять взвешивают. Так поступают до тех пор, пока не прекратится убыль в массе.

На удаление гигроскопической влаги обычно требуется для цемента и глины 2 – 3 ч, а песка – 1 ч. Количество общей и гигроскопической влажности, %, во всех случаях рассчитывают по формулам (19) и (20).

Полученные результаты записывают в табл. 6

Таблица 6

Материал	Масса бюкса, г	Масса бюкса с материалом, г	Масса навески, г	Масса бюкса с сухим материалом, г	Влажность, %

3. Определение водопоглощения. *Водопоглощением* называется свойство материала впитывать и удерживать в себе воду при непосредственном соприкосновении с ней. Количественное выражение водопоглощения характеризуется весовым водопоглощением либо объемным водопоглощением.

Величина весового водопоглощения $W_{в}$, %, представляет собой отношение массы поглощенной материалом воды ко всей массе сухого материала m , г, и определяется по формуле (20).

Величина объемного водопоглощения $W_{об}$, %, представляет собой отношение массы поглощенной воды ко всему объему тела V , $см^3$,

$$W_{об} = [(m_1 - m) / V] 100. \quad (21)$$

Разделив величину объемного водопоглощения на весовое, получим среднюю плотность тела ρ , $г/см^3$:

$$\frac{W_{об}}{W_B} = \frac{m}{V} = \rho_e, \quad (22)$$

где $W_{об} = W_B \rho_e$.

Повышенное водопоглощение строительных материалов снижает прочность, устойчивость по отношению к действию агрессивных сред, увеличивает массу, повышает теплопроводность, способствует появлению сырости в жилых помещениях и т. д.

Количественно величину водопоглощения определяют в зависимости от требований ГОСТа тремя способами:

- 1) постепенным погружением тела в холодную воду;
- 2) кипячением в воде;
- 3) вакуумированием.

Водопоглощение при кипячении дает более точные показатели по сравнению с водопоглощением на холоде. Объясняется это тем, что воздух, заключенный в порах, при нагревании расширяется и удаляется из них. Освободившиеся от воздуха поры заполняются водой. Кроме того, некоторые тонкие пленки, ограничивающие закрытые поры, разрушаются, вследствие чего количество открытых пор, заполненных водой, увеличивается.

Для определения величины водопоглощения на холоде из средней пробы материала или изделий отбирают наиболее типичные образцы с неповрежденной и предварительно очищенной поверхностью. Сначала их высушивают при температуре $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, охлаждают и помещают торцевой стороной в ванну на металлическую сетку. Образцы устанавливают на расстоянии не менее $2 - 4$ мм друг от друга. Ванну наполняют водой на $1/3$ высоты образцов. Через 12 ч доливают еще воду до уровня, соответствующего $2/3$ высоты образца, и снова выдерживают 12 ч, после чего наполняют водой до полного погружения образцов, и в таком положении выдер-

живают в течение 24 ч. Затем образцы вынимают из воды, вытирают влажной тканью и взвешивают на технических весах.

Из полученных данных рассчитывают величину водопоглощения материала на холоде по приведенным выше формулам (19 – 21).

Для определения величины водопоглощения материала при кипячении используют те же образцы, с помощью которых определялась величина водопоглощения на холоде. Их помещают в металлическую ванну на медную металлическую сетку, предотвращающую соприкосновение образцов с перегретым дном ванны. Ванну заливают водой на уровень выше образцов не менее чем на 2 см, кипятят в течение 3 ч. Затем кипячение прекращают, образцы оставляют в ванне до полного охлаждения, вынимают их, протирают поверхность влажной тканью и взвешивают. Полученные результаты записывают в журнал в табл. 7.

Таблица 7

Материал	Масса образца, г			Водопоглощение	
	высушенного при 110 °С	после водопоглощения	после кипячения	на холоде	при кипячении

Для определения величины водопоглощения вакуумированием используют металлические, герметически закрывающиеся сосуды, соединенные с вакуум-установкой. При ее отсутствии испытание проводят в эксикаторе, в крышке которого имеется отвод с краном для откачки воздуха. Взвешенные сухие образцы помещают в сосуд для вакуумирования или в эксикатор. Из сосуда с образцами выкачивают воздух, доводя давление до 20 мм рт. ст., после чего в сосуд подают воду так, чтобы жидкость полностью покрыла образцы. Если вакуумирование проводят в эксикаторе, то его предварительно наполняют водой, а потом подключают к вакуум-насосу. Образцы выдерживают под вакуумом до тех пор, пока из них не прекратится выделение пузырьков. Затем сосуд или эксикатор отключают от вакуум-установки, образцы выдерживают в воде в течение 1 ч, после чего их взвешивают с прежней степенью точности. Водопоглощение образцов, %, рассчитывают так же по формуле (21).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Цель работы: научиться определять морозостойкость строительных материалов.

Морозостойкость – способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без видимых признаков разрушения и значительного снижения прочности. Замораживание испытуемых образцов проводится при $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже, оттаивание осуществляется в водной среде, температура которой поддерживается в пределах от 10 до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Большинство строительных материалов в воздушно-сухом состоянии хорошо выдерживают попеременное замораживание и оттаивание, при этом прочность их не снижается и они не разрушаются. В насыщенном же водой состоянии, т.е. когда открытые микротрещины, микрощели, капилляры и поры их наполнены водой, разрушающее действие замораживания и оттаивания часто достигает значительной величины, иногда вплоть до полного разрушения материала. Это происходит в результате того, что вода при замерзании увеличивается в объеме примерно на 10% .

Морозостойкость обычно характеризуется либо количеством циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживает материал до появления признаков разрушения его, либо коэффициентом морозостойкости. Признаками разрушения при испытании на морозостойкость являются потеря массы и снижение предела прочности при сжатии.

Степень морозостойкости характеризуется наибольшим числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое способны выдержать соответствующие образцы, не снижая при этом величину предела прочности при сжатии более 25% или не теряя в массе более 5% . В соответствии с этим морозостойкость материалов характеризуется марками: Мрз10; Мрз15; Мрз25; Мрз50; Мрз100; Мрз150; Мрз200 и Мрз300. Менее точная характеристика морозостойкости строительных материалов – это коэффициент морозостойкости $K_{\text{Мрз}}$. Он представляет собой отношение водопоглощения материала при насыщении его водой на холоде к водопоглощению при кипячении: $K_{\text{Мрз}} = V_{\text{хол}}/V_{\text{кип}}$. Ориентировочно морозостойкими можно считать такие материалы, у которых $K_{\text{Мрз}} = 0,80$.

В лабораториях величину морозостойкости материалов и изделий определяют либо методом попеременного замораживания и оттаивания ото-

бранных от средней пробы образцов, либо сульфатным методом. Последний заключается в попеременном насыщении испытуемого материала раствором сульфата натрия с последующим высушиванием при температуре 105 – 110 °С. Если первый метод основан на разрушающем действии кристаллов льда при их образовании в порах испытуемого материала, то второй – сульфатный – основан на образовании кристаллов десятиводного сульфата натрия $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ при высушивании образца, предварительно насыщенного раствором сульфата. Разрушающее действие сульфата натрия значительно сильнее действия льда, поэтому данный метод является более «жестким».

Для определения морозостойкости от всей партии материала отбирают среднюю пробу, количество которой зависит от гранулометрического состава материала. Если крупность материала не превышает 25 мм, то средняя проба составляет 1 кг, при крупности до 40 мм – 1,5 кг; до 70 мм – 3 кг и больше 70 мм – 10 кг.

Для очистки от примесей и всевозможных загрязнений пробу промывают в проточной воде при интенсивном перемешивании. Затем ее высушивают до получения постоянной массы и просеивают через два сита. Величина отверстий в первом сите должна соответствовать наибольшей крупности данной фракции, а во втором сите – наименьшей крупности зерен испытуемой фракции. Допустим, что необходимо подвергнуть испытанию щебень фракции 5 – 10 мм. В этом случае для просева пробы используют сита с отверстиями: в первом – 10 мм, во втором – 5 мм.

Подготовленный таким образом материал помещают в предварительно оттарированный широкодонный перфорированный сосуд и разравнивают по дну сосуда так, чтобы толщина слоя не превышала размера поперечника наиболее крупных зерен. После этого сосуд с навеской на 48 ч помещают в ванну с водой (температуру воды поддерживают в пределах $20 \pm 5^\circ$). При этом вода должна покрывать с некоторым избытком весь испытуемый материал. По истечении указанного срока сосуд с гравием или щебнем вынимают из ванны и переносят в холодильник с температурой $-20 \pm 5^\circ\text{C}$, в котором и выдерживают в течение 4 ч. Время пребывания материала в холодильнике отсчитывают с того момента, когда температура в нем достигнет -15°C . За это время вода, насыщающая поры, замерзает и производит разрушающее действие. Затем сосуд с испытуемым материалом для оттаивания переносят на 4 ч в ванну с водой, температура которой поддерживается в пределах $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Попеременное замораживание и оттаивание повторяют столько раз, сколько предусматривается в соответствующих технических условиях.

После последнего цикла замораживания и оттаивания испытуемый материал высушивают при температуре 105 – 110 °С и просеивают на ситах, соответствующих минимальным размерам фракции. Разница между величиной первоначальной навески и конечным взвешиванием составляет потерю в массе и характеризует эффект разрушения. Последний не должен превышать 10 % от исходной навески.

Чтобы установить марку щебня или гравия по морозостойкости, навеску каждого из них подвергают 15 раз попеременному замораживанию и оттаиванию, после чего определяют потерю массы. Если потеря ее меньше 10% от исходной навески, то испытание продолжают до 25 циклов, после чего опять определяют потерю массы. Далее количество циклов увеличивают до 50, 100, 200 и 300. Марку материала устанавливают по наибольшему (из перечисленных выше) количеству циклов, при котором потеря ее не превышает 10 % от испытуемой навески.

Для определения морозостойкости по сульфатному методу подготовку испытуемого материала (отбор пробы, мойку, чистку, сушку и т.д.) проводят так, как и при испытании замораживанием и оттаиванием.

Для получения 10 л раствора сульфата натрия используют 250 – 300 г безводной соли Na_2SO_4 или 700 – 1000 г десятиводного сульфата $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Навеску сульфата постепенно при постоянном помешивании растворяют в 1 л нагретой до 30 °С дистиллированной воды, а затем вливают в остальные 9 л и оставляют на двое суток в спокойном состоянии. Испытуемый зернистый материал после его предварительной подготовки переносят в стеклянный или керамический плоский сосуд и разравнивают по дну сосуда так, чтобы толщина слоя не превышала поперечного сечения наиболее крупных зерен. Затем материал заливают раствором сульфата натрия с условием, чтобы материал был полностью закрыт, и выдерживают 20 ч при комнатной температуре. После этого раствор сульфата сливают, а сосуд вместе с испытуемым материалом помещают на 4 ч в сушильный шкаф, нагретый до 105 – 110 °С. После окончания сушки материал охлаждают, затем повторно заливают раствором сульфата на 4 ч, и процесс повторяют. После каждых 3, 5, 10 и 15 циклов раствор сульфата сливают, а материал интенсивно при тщательном перемешивании промывают горячей водой до полного вымывания сульфата (проба на Na_2SO_4), высушивают при 105 – 110 °С до постоянной массы, просеивают через

чистое сито и снова взвешивают. Потеря массы при испытании выражается в процентах от первоначального количества испытуемого материала:

$$M_{рз} = [(m - m_1)/m] 100, \quad (23)$$

где $M_{рз}$ – морозостойкость, %; m и m_1 – масса навески до и после испытания, г.

Марки по морозостойкости приведены в табл. 8.

Таблица 8

Показатель	Марки по морозостойкости						
	Мрз 15	Мрз 25	Мрз 50	Мрз 100	Мрз 150	Мрз 200	Мрз 300
Количество циклов	3	5	10	10	15	15	15
Потеря массы, после испытания, %	10	10	10	5	5	3	2

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Цель работы: научиться определять влажность, влагопоглощение, набухание и усушку древесины.

Определение влажности древесины

Влажность древесины неодинакова. Она зависит от многих причин и колеблется в довольно широких пределах. Наибольшая влажность свежесрубленного дерева в заболонной его части доходит до 35 % и более, наименьшая – в ядре. Срубленное дерево на воздухе постепенно медленно высыхает, древесина его становится воздушно-сухой с влажностью 15 – 18 %. В помещении при комнатной температуре влажность древесины снижается до 8 – 12 %. Такая древесина называется воздушно-сухой. С изменением влажности древесина либо дает усушку, либо набухает, что чрезвычайно важно при ее использовании.

Нормальная влажность древесины – 15 %. При испытании показатели физико-механических свойств древесины при неодинаковой влажности получаются различными, поэтому их всегда пересчитывают на древесину нормальной влажности, т.е. на 15 %.

Для определения влажности древесины от испытуемого дерева или древесного материала отбирают среднюю пробу. Порядок отбора средней

пробы, форма и размеры ее образцов указываются в соответствующих ГОСТах. Для определения влажности берут весь образец или его часть, которую отрезают острой пилой поперек волокон образца. Иногда для определения влажности используют измельченную древесину. Отобранные образцы сначала очищают от пыли и загрязнений, переносят каждый образец в отдельный чистый, предварительно взвешенный на аналитических весах с точностью до 0,001 г бюкс, а затем вместе с бюксом и крышкой взвешивают на тех же аналитических весах с такой же точностью. Взвешенные образцы в открытых бюксах помещают в сушильный шкаф, где и высушивают при 103 ± 2 °С до постоянной массы. Процесс высушивания образцов контролируют периодическим взвешиванием их в закрытых бюксах на тех же весах до достижения постоянной массы. Первое контрольное взвешивание образцов из древесины мягких пород проводят через 6 ч от начала высушивания, а из твердых – через 10 ч. Каждое повторное взвешивание делают через 2 ч после предыдущего. Для контрольного взвешивания образец в бюксе вынимают из сушильного шкафа вместе с крышкой, переносят в эксикатор с безводным хлористым кальцием или серной кислотой плотностью 1,84, где и выдерживают для охлаждения до комнатной температуры, после чего бюкс закрывают крышкой и взвешивают на тех же аналитических весах с прежней степенью точности. Образцы считаются высушенными, если два последних взвешивания образца не будут различаться между собой более чем на 0,002 г.

Влажность образца древесины, %,

$$W = \left[\frac{(m_1 - m_2)}{(m_2 - m)} \right] 100, \quad (24)$$

где m_1 , m_2 – масса бюкса с сырым и сухим образцами и крышкой; m – масса бюкса с крышкой. Данные опыта заносят в табл. 9.

Таблица 9

Номер образца	Порода дерева	m , г	m_1 , г	m_2 , г	Потеря массы $m_1 - m_2$	W , %	$W_{\text{ср.}}$ %

Если для определения влажности испытывается несколько образцов одной и той же древесины, то окончательный результат подсчитывают как среднее арифметическое из всех определений.

Определение влагопоглощения древесины

Всякая древесина способна поглощать влагу из окружающего пространства. Следует отличать влагопоглощение древесины от ее водопоглощения. Под влагопоглощением понимают то количество воды, которое она способна поглотить из окружающего воздуха при температуре 20 ± 2 °С в течение определенного промежутка времени, обычно за 30 суток.

Влагопоглощение древесины определяют на гладкоостроганных, специально изготовленных для этой цели образцах призматической формы с основанием 30×30 мм и высотой вдоль волокон 10 мм. На каждом образце годовые слои древесины должны быть параллельны одной паре противоположных граней и перпендикулярны другой. Перед испытанием все образцы предварительно высушиваются до постоянства массы. Делается это так же, как при определении влажности древесины. Затем каждый сухой образец взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г, помещают одной боковой стороной на решетку эксикатора, на дно которого предварительно наливают насыщенный раствор соды $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Все образцы на решетке располагают в один ряд, чтобы они не касались друг друга, расстояние между ними и стенками эксикатора должно составлять не менее 15 – 20 мм. Затем эксикатор с образцами плотно закрывают пришлифованной к нему крышкой, выдерживают все время опыта при 20 ± 2 °С. Через сутки с момента помещения образцов в эксикатор каждый образец пинцетом вынимают, переносят в бюкс и в нем взвешивают на аналитических весах с прежней степенью точности, а затем опять помещают в эксикатор для дальнейшего влагопоглощения. Последующее периодическое взвешивание образцов производится через 2, 3, 5, 8, 13, 20 и 30 сут. Опыт прекращают, когда разница во влажности за последние 10 сут будет меньше 2 %.

Величина влагопоглощения по каждому образцу, %,

$$W = \left[\frac{(m_1 - m_2)}{(m_2 - m)} \right] 100, \quad (25)$$

где m_1 , m_2 – масса бюкса с высушенным образцом и образцом, поглощающим влагу, г; m – масса бюкса, г. Результаты записывают в табл. 10.

Таблица 10

Номер образца	Показатель	Время, сут						
		2	3	5	8	13	20	30
1	m							
	m_1							
	m_2							
	W							
...								

На основании результатов испытания, записанных в приведенной таблице, в прямоугольной системе координат строят диаграмму влагопоглощения древесины. На оси ординат откладывают величину влагопоглощения (%), а на оси абсцисс – соответствующее значение времени (сут). Максимальная влажность древесины, полученная в результате 30-суточного выдерживания ее в эксикаторе над насыщенным раствором соды, будет основным показателем влагопоглощения.

Определение водопоглощения, радиального и тангенциального разбухания древесины

При водопоглощении древесина разбухает. Величина водопоглощения и разбухания у неодинаковых сортов дерева различна и колеблется в значительных пределах.

Для определения величины водопоглощения и разбухания древесины из нее изготавливают не менее двух образцов, гладко остроганных под угольник, в виде прямоугольной призмы высотой 10 – 30 мм и основанием 20×20 мм. Высоту призмы определяют вдоль волокон. Годовые слои древесины на торцовых поверхностях образцов должны располагаться перпендикулярно одной паре противоположных граней и параллельно второй. На торце каждого образца простым карандашом проводят две взаимно перпендикулярные линии так, чтобы торцовая поверхность образца разделилась на четыре равные части. Затем каждый образец помещают в предварительно взвешенный бюкс, закрывают и выдерживают в сушильном шкафу сначала при $50 - 60$ °С в течение 3 ч, а затем при 103 ± 2 °С до постоянной величины сухой массы образца. Чтобы определить конец высушивания образцов, их периодически вынимают из сушильного шкафа, охлаж-

дают до комнатной температуры в закрытом эксикаторе, на дно которого налита 94%-ная серная кислота или насыпан безводный хлористый кальций, и взвешивают в закрытых бюксах с точностью до 0,01 г. Образцы из мягких пород взвешивают через 6 ч, а из твердых – через 10 ч от начала сушки. Последующие взвешивания делают через 2 ч после предыдущего. Образцы считаются высушенными, когда разница между двумя последними взвешиваниями не превышает 0,02 г. Окончательную величину массы записывают как массу сухого образца, делают поперечный замер микрометром по тангенциальному $l_{t\min}$ и по радиальному $l_{r\min}$ направлениям.

Сухие замеренные образцы помещают в сосуд с дистиллированной водой так, чтобы каждый образец плавал на торцовой поверхности. Температуру воды все время поддерживают в пределах 20 – 22 °С. Сосуд с водой и плавающими в ней образцами закрывают притертой крышкой. Образцы периодически вынимают, промокают фильтровальной бумагой и взвешивают в бюксе с прежней степенью точности, а затем измеряют в направлении l_t и l_r с точностью до 0,01 мм. Измеренные образцы опять помещают в сосуд с водой для дальнейшего водонасыщения. Сначала образцы взвешивают через 2 ч после пребывания их в воде, а затем через 1; 2; 4; 7; 12; 20 и 30 сут. Испытание на водопоглощение прекращается, когда два последних измерения будут отличаться одно от другого не более чем на 0,02 мм за последние трое сут.

После взвешивания величину предельного водопоглощения каждого образца, % подсчитывают по формуле (25).

Затем подсчитывают среднюю величину водопоглощения всех образцов.

Величину линейного разбухания каждого образца вычисляют с точностью до 0,1 %:

$$a_{t\max} = [(l_{x\max} - l_{t\min}) / l_{t\min}] 100; \tag{26}$$

$$a_{r\max} = [(l_{r\max} - l_{r\min}) / l_{r\min}] 100,$$

где $a_{t\max}$ – величина набухания по тангенциальному направлению, %; $a_{r\max}$ – то же, по радиальному направлению, %; $l_{t\min}$, $l_{r\min}$ – размеры образцов по тангенциальному и радиальному направлениям после высушивания; $l_{t\max}$, $l_{r\max}$ – после влагонасыщения.

Коэффициенты линейного разбухания вычисляют с точностью до 0,01 %:

$$K_{a_t} = \frac{a_t \max}{W}; \quad K_{a_r} = \frac{a_r \max}{W}, \quad (27)$$

где K_{a_t} и K_{a_r} – коэффициенты линейного разбухания, %. Результаты наблюдений записывают в табл. 11.

Таблица 11

Древесина	Номер образца	2 ч			1-е сут			2-е сут			4-е сут			7-е сут			20-е сут		
		W	a_t	a_r	W	a_t	a_r	W	a_t	a_r	W	a_t	a_r	W	a_t	a_r	W	a_t	a_r

По данным водопоглощения в прямолинейной системе координат строят кривую, откладывая по оси абсцисс значение времени выдерживания образцов в воде, а по оси ординат – количество поглощенной воды (%). Эта кривая представляет собой основной показатель процесса водопоглощения, максимальная величина которого достигается за 30 сут выдерживания образцов в воде.

Определение величины усушки древесины

Срубленное дерево, находясь на воздухе или в сухом помещении, высыхает и уменьшается в размерах, т.е. дает усушку. Величина ее зависит от состояния окружающей среды и продолжительности пребывания в ней.

Величину усушки древесины определяют на образцах, изготовленных в форме прямоугольной призмы размерами 20 × 30 × 30 мм. Образцы изготавливают таким образом, чтобы годовые слои на торцовых поверхностях располагались параллельно двум противоположным граням и перпендикулярно основаниям призмы. Образцы гладко остругивают под угольник и затем подвергают полному водонасыщению. По достижении полного водопоглощения каждый образец взвешивают для определения влажности и

обмеривают по высоте $l_{a \max}$, толщине $l_{t \max}$ и ширине $l_{r \max}$ для определения его объема V_{\max} . Затем все образцы кондиционируют при влажности $65 \pm 5 \%$, температуре $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ до постоянной влажности и объема, периодически взвешивая их и измеряя объем. Образцы, давшие трещину, из опыта исключают. Затем их переносят в сушильный шкаф, сушат сначала в течение 3 ч при $50 - 60 \text{ }^\circ\text{C}$, а потом при $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ до постоянства массы. Образцы считаются сухими, когда разность между двумя взвешиваниями не превышает 0,002 г.

Сухие образцы тут же измеряют с прежней степенью точности и по тем же направлениям, что и до высушивания. На основании полученных данных рассчитывают влажность каждого образца $W_{\text{ПН}}$, его объем до высушивания V_{\max} и после высушивания V_{\min} , величину усушки в тангенциальном направлении $l_{t \min}$, в радиальном направлении $l_{r \min}$ и по объему $V_{\text{ОБ}}$, а также величину коэффициента K усушки, представляющего собой отношение величины усушки к влажности образца как по тангенциальному и радиальному направлениям, так и по объему. Для вычисления перечисленных величин пользуются формулами (24 – 30).

Максимальный объем образца

$$V_{\max} = \frac{l_{a \max} l_{t \max} l_{r \max} - l_{a \min} l_{t \min} l_{r \min}}{l_{a \max} l_{t \max} l_{r \max}}; \quad (28)$$

средний объем образца

$$V_{\text{ОБ}} = \frac{l_{a \max} l_{t \max} l_{r \max} - l_{a \min} l_{t \min} l_{r \min}}{l_{a \max} l_{t \max} l_{r \max}} 100 \%, \quad (29)$$

где l_a, l_t, l_r – размеры сухого образца по тем же направлениям при $\varphi = 65 \%$ и $t = 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, мм.

Коэффициенты усушки:

$$K_V = \frac{V_{\max}}{W_{\text{ПН}}}, \quad K_{\text{ОБ}} = \frac{V_{\text{ОБ}}}{W_{\text{ПН}}} \quad (30)$$

Результаты испытаний и вычислений записывают в протокол отчета.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Цель работы: научиться определять коэффициент размягчения паро- и газопроницаемости строительных материалов.

Определение коэффициента размягчения

Коэффициент размягчения $K_{\text{разм}}$ – это отношение прочности материала, насыщенного водой, к прочности сухого материала:

$$K_{\text{разм}} = R_b/R_c . \quad (31)$$

Коэффициент размягчения характеризует водостойкость материала. Он изменяется от 0 (размокшие глины) до 1 (металлы). Природные и искусственные материалы не применяются в строительных конструкциях, находящихся в воде, если их коэффициент размягчения меньше 0,75.

Определение паро- и газопроницаемости

При возникновении у поверхностей ограждения строительных конструкций разности давлений газа происходит его перемещение через поры и трещины материала. Для расчета коэффициента газопроницаемости используют закон Дарси – Пуазейля:

$$K = \frac{aV\rho}{S\Delta tr} , \quad (32)$$

где a – толщина ограждения, м; $V\rho$ – масса газа, кг; S – площадь ограждения; Δt – разность давлений на гранях ограждения; r – время, в течение которого проходит газ.

Стеновой материал должен обладать определенной проницаемостью, т.е. через наружные стены зданий должна происходить естественная вентиляция, что особенно важно для жилых зданий, больниц. Паро- и газопроницаемость в большей степени зависят от структуры материала; средней плотности и пористости. Влажностные деформации наблюдаются у пористых неорганических и органических материалов (бетон, древесина и др.). При изменении влажности материалы изменяют свой объем и размеры.

Усадкой (усушкой) называют уменьшение размеров материала при его высыхании. Она вызывается уменьшением толщины слоя воды, окружающей частицы материала и действием внутренних капиллярных сил, стремящихся сблизить частицы материала.

Набухание (разбухание) происходит при насыщении материала водой. Полярные молекулы воды, проникая между частицами и волокнами материала, как бы расклинивают их, при этом утолщаются гидратные оболочки, вокруг частиц исчезают внутренние мениски, а с ними и капиллярные силы.

Чередование высыхания и увлажнения пористого материала, часто встречающееся в практике, сопровождается попеременными деформациями усадки и набухания. Такие многократные циклические воздействия нередко вызывают появление трещин, ускоряющих разрушение. В подобных условиях находится бетон в дорожных покрытиях, наружных стенах гидротехнических сооружений.

Высокопористые материалы (древесина, ячеистые бетоны), способные поглощать много воды, характеризуются большой усадкой (табл. 12).

Таблица 12

Материал	Усадка, мм/м
Древесина (поперек волокон)	30 – 100
Ячеистый бетон	1 – 3
Строительный раствор	0,5 – 1
Кирпич глиняный	0,03 – 0,1
Тяжелый бетон	0,02 – 0,06

Испарение воды из крупных пор не ведет к сближению частиц материала и практически не вызывает объемных изменений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Цель работы: научиться определять теплопроводность каменных строительных материалов.

Определение теплопроводности материала

Теплопроводностью называют свойство материала передавать тепло от одной поверхности к другой. Это свойство является главным как для

большой группы теплоизоляционных материалов, так и для материалов, применяемых для устройства наружных стен и покрытий зданий.

Тепловой поток проходит через твердый "каркас" и воздушные ячейки пористого материала. Теплопроводность воздуха ($\lambda = 0,023$ Вт/м °С) меньше, чем у твердого вещества, из которого состоит каркас строительного материала. Поэтому увеличение пористости материала – основной способ уменьшения теплопроводности. На практике удобно судить о теплопроводности по средней плотности материала. По формуле В.П. Некрасова, связывающей теплопроводность λ (Вт/м °С) с средней плотностью каменного материала, можно рассчитать теплопроводность для любого исследуемого строительного материала:

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16, \quad (33)$$

где d – относительная плотность материала по отношению к плотности воды.

Влага, попадающая в поры материала, увеличивает его теплопроводность, так как $\lambda = 0,58$ Вт/м °С, т.е. в 25 раз больше теплопроводности воздуха. Замерзание воды в порах с образованием льда еще более увеличивает теплопроводность, так как для воды $\lambda = 0,1$ Вт/м °С, а льда $\lambda = 2,3$ Вт/м °С. При повышении температуры теплопроводность большинства материалов увеличивается и лишь у немногих (магнезитовых огнеупоров) – уменьшается.

Теплоемкость – свойство материала поглощать при нагревании тепло. Характеризуется удельной теплоемкостью. Удельная теплоемкость представляет собой количество тепла, необходимое для нагревания 1 кг материала на 1°С.

Удельную теплоемкость, КДж/кг °С, определяют по формуле

$$C = \frac{Q}{m (t_2 - t_1)}, \quad (34)$$

где Q – количество тепла, затраченное на нагревание материала от температуры t_1 до t_2 Дж; m – масса материала, кг; $(t_2 - t_1)$ – разность температур материала до и после нагревания, °С.

Удельная теплоемкость стали составляет 460, каменных материалов – 755 ... 925; тяжелого бетона – 800 ... 900; лесных материалов – 2380 ... 2720, воды – 1 КДж/кг °С.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Цель работы: научиться определять предел прочности при сжатии строительных материалов.

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

В конструкциях строительный материал может подвергаться воздействию статических и динамических нагрузок, а именно сжатию, растяжению, изгибу, сдвигу и т.п., поэтому прочность материалов обычно характеризуется величиной предела прочности при сжатии, растяжении, изгибе и т.д. Численно предел прочности равен напряжению, соответствующему нагрузке, вызвавшей разрушение образца материала.

Испытания следует выполнять в строгом соответствии с требованиями нормативной документации. Всякого рода отклонения могут привести к грубому искажению результатов и, в конечном итоге, к неверным выводам о качестве материала. На точность испытания прочности образцов материала влияет большое количество факторов: состояние форм, конструкция и состояние пресса, скорость приложения нагрузки и др.

При сжатии кубов потоки напряжений в них неравномерны из-за концентраторов ребер. В этом отношении преимущество имеют образцы-цилиндры. Они более технологичны и удобны, чем формы для кубов.

В отечественной практике испытания проводят преимущественно на образцах-кубах. ГОСТами регламентированы достаточно жесткие допуски для геометрических размеров образцов. По мере использования форм для изготовления образцов со временем происходит изменение их геометрии и формирующей поверхности. Опыты Ю. Г. Халотина свидетельствуют, что образцы, изготовленные в старых формах, имели заниженные результаты испытаний. При использовании новых форм коэффициент вариации v колеблется до 8 %, а старых – до 14 %.

Для испытания на сжатие применяют гидравлические прессы по ГОСТ 8305-82. В диапазоне измерений от 0,2 до 0,9 $P_{пред}$ прессы должны обеспечивать определение нагрузки с погрешностью не более ± 2 %. Прессы под-

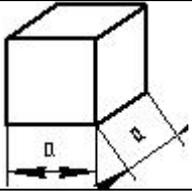
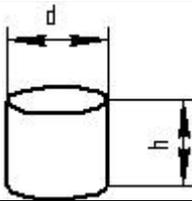
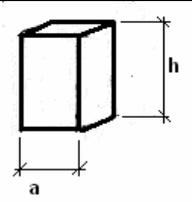
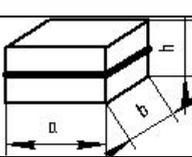
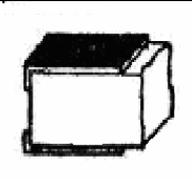
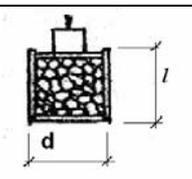
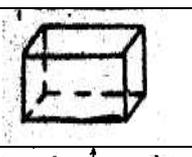
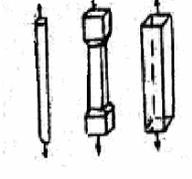
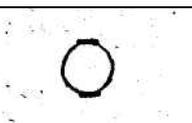
лежат проверке органами Госстандарта РФ не реже одного раза в два года. Следует учитывать, что даже при использовании однотипных поверенных прессов коэффициент вариации может изменяться от 4 до 13 % а погрешность в оценке прочности достигать 20 – 28 %.

На результаты испытания прочности влияют следующие конструктивные особенности прессов: толщина плиты пресса, жесткость рамы пресса, устройство шарового шарнира, который необходим для компенсации возможной непараллельности опорных поверхностей образца и плотного прилегания к ним плит пресса, передающих сжимающую нагрузку. А также существенное влияние оказывает скорость приращения нагрузки, которая должна возрастать непрерывно и равномерно и соответствовать $4 - 8 \text{ кгс/см}^2 \text{ в с.}$

Практика испытаний свидетельствует, что при увеличении размеров образцов показатели прочности снижаются. Это объясняется рядом причин. Для исключения влияния размеров образцов-кубов в расчетные формулы прочности введен масштабный коэффициент α . За базовый образец принят куб с ребром 150 мм. Для него $\alpha = 1$, значения α приводятся ГОСТ 10180-78 и в справочной литературе. При этом рекомендуется устанавливать фактические значения α по результатам лабораторных испытаний. Прочность строительного материала также зависит от наличия пор, трещин и микродефектов структуры. Для хрупких материалов (природных каменных материалов, бетонов, кирпича, строительных растворов, стекла и др.) предел прочности определяют как средний результат испытаний серии образцов (обычно не менее трех).

Согласно ГОСТ 18105.1-80 контроль прочности строительных материалов в образцах должен проводиться статистическим методом. При статистическом методе контроля требования к прочности устанавливаются с учетом фактической однородности прочности. Однородность характеризуется коэффициентом вариации v . В табл. 13 для разрушающих методов приведены расчетные формулы и размеры для различных строительных материалов.

Таблица 13

Образец	Эскиз	Расчетные формулы	Материал	Размер стандартного образца, см
Куб		$R=P/a^2$	Бетон, раствор, природный камень	15×15×15 20×20×20 10×10×10
Цилиндр		$R=LP/(\pi d^2)$	Бетон, природный камень	5×5×5 7,07×7,07×7,07
Призма		$R=P/a^2$	Бетон, древесина, цемент, гипсовый раствор,	$a = 10, 15, 20$ $h = 40, 60, 80$ $a = 2, h = 3$ 4×4×16
Составной образец		$R=P/S$	Кирпич	$a = 12$ $b = 12,5$ $h = 14$
Половинка образца призмы		$R=P/S$	Цемент, гипсовый раствор	$a = 4$ $S = 25\text{см}^2$
Проба щебня (гравия) в цилиндре		$D = \frac{m_1 - m}{m_1} 100$	Крупный за- полнитель для бетона	$d = 15$ $h = 15$
Призма, кирпич в натуре		$R=P/S$	Кирпич	12×6,5×25
Стержень, восьмерка, призма		$R=P/S$	Бетон, сталь	5×5×20 10×10×80 $d = 1, b = 10, a = 5$
Цилиндр		$R=P/S$	Бетон	16×15

Работа состоит из трех основных этапов: подготовка к испытаниям, проведение испытаний, обработка результатов и выполняется бригадой из 3 – 4 студентов. Каждая бригада испытывает серию из трех образцов.

Подготовка к испытаниям. Перед испытанием образцы осматривают, отмечая сколы ребер, раковины и инородные включения, выходящие на поверхность образцов. Результаты осмотра отражают в отчете.

На образцах выбирают и отмечают опорные грани, на которые будет передаваться нагрузка. При этом руководствуются следующими правилами: а) сжимающая сила должна быть направлена параллельно слоям укладки смеси в форму; б) опорные грани должны быть параллельными.

Определяют линейные размеры образцов с погрешностью не более $\pm 1\%$. Каждый линейный размер образца – куба – вычисляют как среднее арифметическое значений результатов двух измерений по серединам двух противоположных граней. По итогам линейных измерений находят площадь сжатия.

Проведение испытаний. Предел прочности при сжатии R равен разрушающей силе, приходящейся на 1 м^2 первоначального сечения материала в момент разрушения образца,

$$R_{\text{сжат}} = P_{\text{max}}/F, \quad (35)$$

где P_{max} – разрушающая сила, Н; F – площадь поперечного сечения образца, м^2 ; $R_{\text{сжат}}$ – предел прочности при сжатии, Н/м^2 (МПа).

Непосредственно перед испытанием тщательно очищают опорные плиты пресса. Затем образец устанавливают одной из заранее выбранных граней на нижнюю плиту пресса центрально относительно его оси, центровку образца осуществляют по рискам, нанесенным на плите пресса, либо с помощью специальных устройств. В лабораторной работе центровку проводят по рискам.

После центровки опускают верхнюю плиту пресса и зажимают образец. Включают пресс и доводят образец до разрушения. Берут отсчет по прибору. Результат механических испытаний записывают в табл. 14.

Таблица 14

Номер образца	Материал	Размеры образцов, см				Площадь поперечного сечения, см^2	Разрушающая нагрузка, кгс	Предел прочности при сжатии, $R_{\text{сж}}$	
		Длина	Ширина	Высота	Диаметр			кгс/ см^2	МПа

Обработка результатов. Сначала каждая бригада рассчитывает прочность $R_{\text{сж}}$ образцов, проводит проверку однородности результатов и находит среднее значение прочности R_i в серии образцов. Затем бригады обме-

ниваются результатами и переходят к определению средней прочности R_m и коэффициента вариации прочности бетона v_m в партии. На основе полученных данных назначают требуемую прочность испытываемого материала R . Для расчета $R_{сж}$ (бетона) значение коэффициента требуемой прочности K_T принимают по табл. 15.

Таблица 15

Коэффициент вариации, v_m , %	K_T , %, от нормируемой прочности при количестве серий, равном					
	1	2	3	4	6	10
5	85	84	83	83	83	82
6	87	86	85	85	85	84
7	90	88	88	87	87	86
8	93	91	90	90	89	89
9	96	94	93	92	92	91
10	99	97	96	95	94	94
11	102	100	99	98	97	96
12	106	103	102	101	100	99
13	109	106	105	104	103	102
14	113	110	108	107	106	106
15	117	114	112	111	110	108
16	122	118	116	115	113	112
17	126	122	120	119	117	116
18	131	126	124	123	121	120
19 – 20	Область недопустимых значений вариации					

Из табл. 15 видно что величина K_T назначается с учетом однородности прочности бетона и надежности контроля. В заключительной части лабораторной работы должен быть сделан анализ влияния v_m и N на $R_{сж}$. При анализе кроме экспериментальных данных используются различные значения v_m и N , принимаемые по указанию преподавателя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Цель работы: научиться определять истираемость, износ и ударную прочность строительных материалов

Определение истираемости. К вращающемуся диску круга истирания под давлением 300 Н прижимается образец испытываемого материала. На движущийся диск подсыпают 20 г истираемого материала – абразива (например кварцевый песок крупностью 0,8 – 0,6 мм). После каждых 28 обо-

ротов диска истирающий материал заменяют свежим, а обойму с образцом поворачивают на 90° .

После 560 оборотов диска определяют потери массы образца по формуле

$$I = (m - m_1)/S, \quad (36)$$

где m – масса образца до истирания, г; m_1 – то же после истирания, г; S – площадь истирания, см^2 .

В качестве окончательного результата принимают среднее арифметическое двух определений. Истираемость гранита 0,1 – 0,5, кварцита 0,06 – 0,12, известняка 0,3 – 0,8 $\text{г}/\text{м}^2$. Результаты испытаний материала записывают в табл. 16.

Таблица 16

Номер образца	Материал	Площадь истирания S , см^2	Масса образца		Истираемость $I = (m - m_1)/S$
			до истирания m , г	после истирания m_1 , г	

Определение износа. Испытанию на износ подвергают горные породы, из которых готовят крупный заполнитель для дорожных бетонов. Требования по износу характеризуются марками, данными в табл. 17.

Таблица 17

Марка заполнителя	Потеря массы после испытания, %	
	Щебня	Гравия
И-1	До 25	До 20
И-2	25 – 35	20 – 30
И-3	35 – 40	30 – 40
И-4	45 – 60	40 – 50

Свойство материала сопротивляться совместному действию удара, скалыванию кромок и трению называется сопротивлением износу. Для испытания материала на износ применяют полочный барабан, представляющий собой металлический цилиндр диаметром 700 мм, длиной 500 мм. Цилиндр вращается вокруг горизонтальной оси, к которой прикреплены четыре полки шириной по 10 см каждая для перемещения испытуемого материала. Частота вращения барабана 0,5 с. Вместе с пробой материала 5 кг в барабан закладывают 11 – 12 чугунных шаров диаметром 48 мм и общей массой тоже 5 кг. Испытание заканчивают после 500 оборотов для фракции щебня 5 – 10 мм и 10 – 20 мм и 1000 оборотов для фракции щебня 20 –

40 мм. Затем испытуемый материал промывают на ситах с диаметрами отверстий 5 и 1,25 мм, высушивают до постоянной массы. Износ определяют по формуле

$$И = (m - m_1)100/m, \quad (37)$$

где m – масса материала до испытаний, кг; m_1 – сумма частных остатков на ситах 5 и 1,25 мм, кг.

Результаты испытаний заносят в табл. 18.

Таблица 18

Номер пробы	Материал фракции	Масса материала		Износ $И = (m - m_1)100/m$, кг
		До испытаний m , кг	После испытаний m_1 , кг	

Определение ударной прочности

7.3.1. Образец – пластинка. Образец-пластинку испытываемого материала, предназначенного для полов, укладывают на песчаную подушку в ящике копра. Удары производят гирей, падающей на середину образца, постепенно увеличивая высоту ее падения, которую определяют по рейке прибора (копра).

Прочность материала характеризуется работой удара, разрушающего материал, и определяется по формуле

$$R_{уд} = ngh/V, \quad (38)$$

где n – число ударов; g – масса гири 2 кг; h – высота падения гири, см; V – объем образца см³.

Результаты записываются в табл. 19.

Таблица 19

Номер опыта	Материал	Размеры пластины, см	Объем, см ³	Вес гири, кг	Число ударов	Высота падения гири, см	$R_{уд}$, МПа

7.3.2. Образец – цилиндр. Образцы-цилиндры испытывают на копре. Материал испытывается падающей 2-килограммовой гирей, которая ударяет по образцу через подбабок. Удары наносят точно в центр испытываемого образца. Показателем сопротивления удару служит порядковый номер удара, предшествующего разрушению. Так, если первая трещина появилась после 10-го удара с высоты 10 см, то считают, что ударная прочность материала составляет 9.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Цель работы: научиться определять прочность строительных материалов неразрушающими методами.

8.1. Определение прочности эталонным молотком

К. П. Кашкарова

Аппаратура и материалы: эталонный молоток К. П. Кашкарова (рис. 6), эталонные стержни длиной 100 – 150 мм из круглой прутковой стали ВСтЗсп2 или ВСтЗпс2 диаметром 12 мм с временным сопротивлением разрыву 420 – 460 МПа, измерительный инструмент (угловой масштаб, измерительная лупа, штангенциркуль).

Сущность метода заключается в определении соотношения диаметров отпечатков, одновременно получаемых в процессе испытания на бетоне и стальном эталонном стержне. Метод применим для определения прочности бетона в диапазоне 0,5...50 МПа.

Испытания бетона проводят на участке конструкции, границы которого должны находиться на расстоянии не менее 50 мм от края конструкции. Влажность бетона на испытываемом участке не должна отличаться от влажности бетона образцов, испытанных при построении градуировочной зависимости, более чем на 30 %.

Удар по бетону при испытании наносят перпендикулярно к испытываемой поверхности. При этом удар можно наносить самим эталонным молотком или обычным молотком по головке эталонного молотка. Удар следует наносить усилием, обеспечивающим получение отпечатка на бетоне размером 0,3 – 0,7 диаметра шарика, равного 15,88 мм, и наибольшего размера отпечатка на эталоне не менее 2,5 мм. Расстояние между отпечатками должно быть не менее 30 мм на бетоне и 10 мм на эталонном стержне. Размеры отпечатков измеряют с погрешностью не более 0,1 мм. На участке конструкции или образце проводят не менее 5 испытаний. Для облегчения

измерений отпечатков удар по бетону рекомендуется наносить через листы копировальной и белой бумаги.

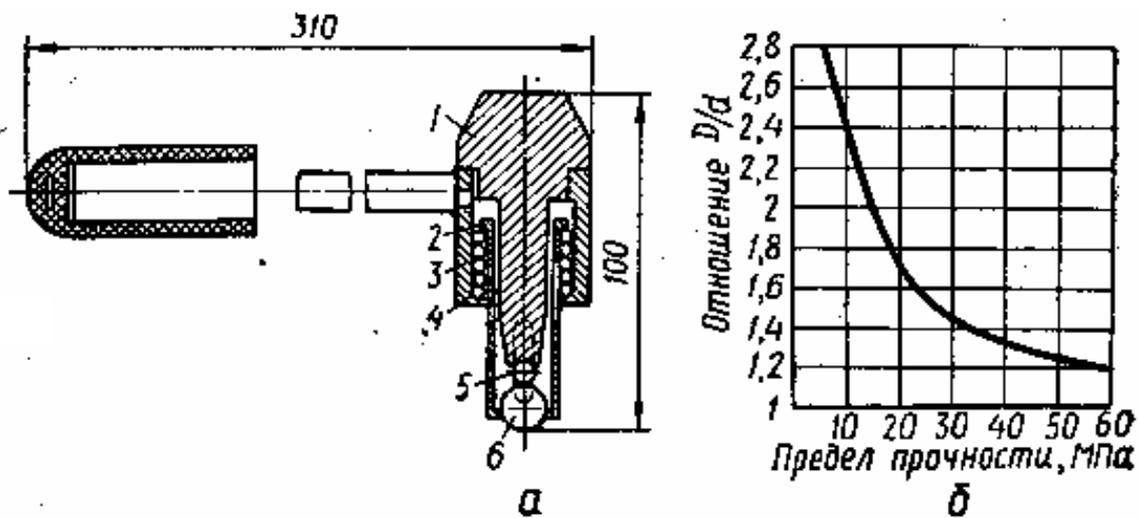


Рис. 6. Эталонный молоток К. П. Кашкарова:
a – схема молотка; *б* – тарировочный график;
 1 – конус; 2 – стакан; 3 – головка; 4 – пружина;
 5 – эталонный стержень; 6 – шарик.

Обработка результатов

Величину косвенной характеристики прочности бетона для участка конструкции вычисляют по формуле

$$H = \sum d_{\delta} / \sum d_{\varepsilon}, \quad (39)$$

где $\sum d_{\delta}$ – сумма диаметров отпечатков на бетоне, мм; $\sum d_{\varepsilon}$ – то же на эталоне, мм.

Прочность бетона на сжатие на участке конструкции определяют по величине косвенной характеристики H , пользуясь градуировочной зависимостью: отношение величин отпечатков на бетоне и эталоне D/d – предела прочности (см. рис. 6).

8.2. Метод упругого отскока

Подготовка к испытаниям

Для определения прочности бетона в конструкциях предварительно устанавливают градуировочную зависимость между прочностью бетона и косвенной характеристикой прочности (в виде графика, таблицы или формулы).

Для использования метода упругого отскока устанавливают градуировочные зависимости конкретно для каждого вида прочности.

Градуировочную зависимость устанавливают заново при изменении вида крупного заполнителя, технологии производства бетона, введении добавок, а также при изменении вида цемента, внесении количественных изменений в номинальный состав бетона, превышающих по расходу цемента $\pm 20\%$, крупного заполнителя $\pm 10\%$.

Для установления градуировочных зависимостей используют не менее 30 образцов-кубов. Размеры образцов для градуировочной зависимости должны быть не менее $100 \times 100 \times 100$ мм.

Возраст образцов, используемых при установлении градуировочной зависимости, не должен отличаться от установленного срока испытаний конструкций: более чем на 40 % – при контроле прочности бетона естественного твердения; более чем в два раза – при контроле прочности бетона после тепловой обработки.

Температура бетона отдельных образцов при определении косвенной характеристики не должна отличаться от средней температуры образцов более чем на $\pm 10^\circ\text{C}$ и от температуры конструкции – более чем на $\pm 10^\circ\text{C}$.

При построении градуировочных зависимостей, предназначенных для контроля отпускной, передаточной и распалубочной прочностей бетона, допускается устанавливать градуировочную зависимость по данным неразрушающих испытаний горячих образцов и при испытании тех же образцов на сжатие при нормальной температуре.

Относительная влажность образцов, используемых для установления градуировочной зависимости, не должна отличаться от влажности испытываемой конструкции более чем на $\pm 2\%$.

Градуировочную зависимость для метода упругого отскока устанавливают на основе результатов испытаний образцов-кубов сначала неразрушающим методом, а затем по ГОСТ 10180-80.

Для метода отскока число измерений на каждом образце должно быть не менее пяти, а расстояние между местами ударов не менее 30 мм.

При испытании методом упругого отскока при ударе образцы должны быть зажаты в прессе усилием (30 ± 5) кН.

За единичное значение прочности бетона принимают значение прочности бетона в серии по ГОСТ 10180-80 или прочность бетона одного образца (если градуировочную зависимость устанавливают по данным испытаний отдельных образцов).

За единичное значение косвенного показателя прочности при установлении градуировочной зависимости принимают среднее арифметическое значение этой величины в серии образцов (или образце), используемых для определения единичного значения прочности.

Градуировочная зависимость должна иметь среднее квадратическое (остаточное) отклонение S_t , не превышающее 12 % при использовании серии образцов и 15 % – отдельных образцов, от среднего значения прочности.

Проведение испытаний

При испытании методом упругого отскока расстояние от мест проведения испытания до арматуры должно быть не менее 50 мм.

Испытание проводят в определенной последовательности:

прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора, при этом положение прибора при испытании конструкции относительно горизонтали рекомендуется принимать таким же, как при испытании образцов для установленной градуировочной зависимости; при другом положении необходимо вносить поправку на показания в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора; фиксируют значение косвенной характеристики в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора; вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции.

Оформление результатов

Результаты испытаний прочности бетона заносят в журнал, в котором должно быть указано:

- наименование конструкции, номер партии;
- вид контролируемой прочности и ее требуемое значение;
- вид бетона;
- наименование неразрушающего метода, тип прибора и его заводской номер;
- среднее значение косвенной характеристики прочности и соответствующее значение прочности бетона;
- сведения об использовании коэффициентов;
- результаты оценки прочности бетона;
- фамилия и подпись лица, проводившего испытание, дата испытания.

8.3. Ультразвуковой метод определения прочности

Общие положения

Ультразвуковой метод применяют для определения прочности бетона: отпускной, передаточной, в установленном нормативно-технической и проектной документацией промежуточном и проектном возрастах, в процессе твердения, а также при экспертном контроле.

Метод основан на связи между скоростью распространения ультразвуковых колебаний и прочностью бетона. Ультразвуковые измерения в бетоне проводят способами сквозного или поверхностного прозвучивания.

Прочность бетона в конструкциях определяют по экспериментально установленным градуировочным зависимостям "скорость распространения ультразвука – прочность бетона" (далее – "скорость – прочность") или "время распространения ультразвука – прочность бетона" (далее – "время – прочность") в зависимости от способа прозвучивания.

Прочность бетона определяют на участках конструкций, не имеющих видимых повреждений (отслоения защитного слоя, трещины, каверны и др.).

Ультразвуковые испытания проводят при положительной температуре бетона.

Допускается проведение ультразвуковых испытаний конструкций при отрицательной температуре бетона не ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ при условии, что в процессе их хранения относительная влажность воздуха не превышала 70 %.

Подготовка испытаний

Подготовка испытаний включает проверку используемых приборов в соответствии с инструкциями по эксплуатации и установку градуировочных зависимостей в соответствии с выбранным способом прозвучивания.

Градуировочную зависимость "скорость – прочность" устанавливают при испытании конструкций способом сквозного прозвучивания, градуировочную зависимость "время – прочность" – при испытании конструкций способом поверхностного прозвучивания.

Допускается при испытании конструкций способом поверхностного прозвучивания использовать градуировочную зависимость "скорость – прочность" с учетом коэффициента перехода.

Градуировочную зависимость устанавливают по результатам ультразвуковых измерений в бетонных образцах-кубах и механических испытаний тех же образцов.

Механические испытания образца проводят по ГОСТ 10180-80 непосредственно после ультразвуковых измерений.

При необходимости проведения ультразвуковых испытаний бетона конструкций непосредственно после термообработки (горячего бетона) для определения отпускной прочности бетона конструкций, а также после их остывания допускается устанавливать градуировочную зависимость по результатам ультразвуковых измерений горячих образцов и механических испытаний тех же образцов после их остывания.

Градуировочную зависимость устанавливают отдельно по каждому виду нормируемой прочности, не менее 15 серий образцов-кубов.

При установлении градуировочной зависимости для приемочного контроля образцы изготавливают в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-80 в разные смены в течение не менее 3 сут из бетона того же номинального состава, по той же технологии, при том же режиме твердения, что и конструкции, подлежащие контролю.

В случае применения на производстве способов и режимов уплотнения бетона конструкций, приводящих к изменению его состава за счет отжатия воды затворения, способ приготовления образцов необходимо указывать в нормативно-технической или проектной документации на эти конструкции.

Допускается изготовление до 40 % общего числа образцов из бетонной смеси, состав которой отличается от номинального по цементно-водному отношению не более 0,4.

При определении прочности бетона в процессе его ускоренного твердения для установления градуировочной зависимости в тепловую установку помещают образцы, число которых равно числу промежутков времени, на которое разбивают период изотермического прогрева. На каждом из этих этапов испытывают по одной серии образцов. Например, если период изотермического прогрева разбит на четыре равных промежутка времени, то в тепловую установку закладывают четыре серии образцов.

При установлении градуировочной зависимости для определения прочности бетона в процессе естественного твердения сроки испытаний образцов необходимо выбирать из следующего параметрического ряда: 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180, 365 сут. Образцы испытывают не менее чем в трех возрастах, один из которых является проектным. В каждом возрасте испытывают не менее 4 серий образцов.

Время распространения ультразвука в образцах при установлении градуировочной зависимости "скорость — прочность" измеряют способом сквозного прозвучивания в соответствии с рис. 7, а.

База прозвучивания должна быть не менее 100 мм. Допускается базу прозвучивания снизить до 70 мм при проведении контроля мелкозернистых бетонов и бетона на ранних стадиях твердения (скорость ультразвука менее 2000 м/с).

Время распространения ультразвука в образцах при установлении градуировочной зависимости "время – прочность" измеряют способом поверхностного прозвучивания в соответствии с рис. 7, б. Минимальная база прозвучивания должна быть не менее 120 мм.

Время распространения ультразвука следует измерять на поверхности, занимающей при изготовлении то же положение относительно формы и направления формования, что и контролируемая поверхность изделия.

В зоне контакта ультразвуковых преобразователей с поверхностью бетона не должно быть раковин и воздушных пор глубиной более 3 мм и диаметром более 6 мм, а также выступов более 0,5 мм. Поверхность бетона должна быть очищена от пыли. Относительная погрешность измерения базы прозвучивания не должна превышать 0,5 %.

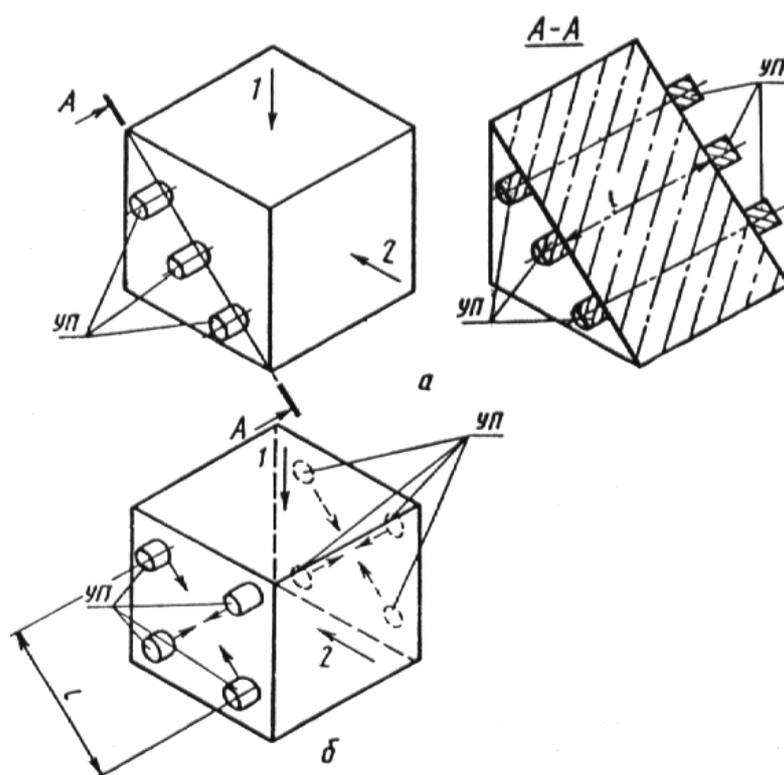


Рис. 7. Способ сквозного и поверхностного прозвучивания:
 а – схема испытания кубов способом сквозного прозвучивания;
 б – схема испытания кубов способом поверхностного прозвучивания;
 УП – ультразвуковые преобразователи; 1 – направление формования;
 2 – направление испытания при сжатии; l – база прозвучивания

Число измерений времени распространения ультразвука в каждом образце должно быть при сквозном прозвучивании 3, при поверхностном – 4. Отклонение отдельного результата измерения времени распространения ультразвука в каждом образце от среднего арифметического значения результатов измерений для данного образца не должно превышать 2 %.

Результаты измерения времени распространения ультразвука в образцах, не удовлетворяющих этому условию, не учитывают при расчете среднего арифметического значения скорости распространения ультразвука в данной серии образцов. При наличии в серии двух образцов, не удовлетворяющих этому условию, результаты испытаний серии бракуют.

Градуировочную зависимость устанавливают по единичным значениям скорости (времени) ультразвука и прочности бетона.

За единичное значение прочности бетона принимают среднюю прочность бетона в серии образцов, определенную по ГОСТ 10180-80. За единичное значение скорости (времени) ультразвука принимают среднее арифметическое значение этих величин в серии образцов, используемых для определения единичного значения прочности.

Проведение испытаний и определение прочности бетона в конструкциях

Число и расположение контролируемых участков на конструкции должны отвечать требованиям ГОСТ 18105-80 и указываться в технологических картах на контроль или нормативно-технической и проектной документации на конструкции, или устанавливаться программой обследования, согласованной с проектной организацией. На каждом контролируемом участке проводят одно измерение времени распространения ультразвука при сквозном и не менее двух – при поверхностном прозвучивании. В последнем случае прочность бетона определяют по среднему значению полученных результатов измерения времени распространения ультразвука. Качество поверхности бетона контролируемого участка конструкции в зоне контакта с ультразвуковыми преобразователями должно соответствовать требованиям. Допускается проведение измерений времени распространения ультразвука в конструкциях через облицовочные материалы и декоративные покрытия по методикам, согласованным с головными научно-исследовательскими организациями.

Сборные линейные конструкции (балки, ригели, колонны и др.) испытывают, как правило, способом сквозного прозвучивания в поперечном направлении.

Изделия, конструктивные особенности которых затрудняют осуществление сквозного прозвучивания, а также плоские конструкции (плоские, ребристые и многопустотные панели перекрытия, стеновые панели и т. д.) испытывают способом поверхностного прозвучивания. При этом база прозвучивания при измерениях на конструкциях должна быть такой же, как на образцах при установлении градуировочной зависимости.

Возраст бетона контролируемых конструкций не должен отличаться от возраста бетона образцов, испытанных для установления градуировочной зависимости, более чем на 50 % – при контроле нормируемой прочности бетона и 25 % – при определении прочности бетона в процессе твердения.

Измерение времени распространения ультразвука в бетоне конструкций следует проводить в направлении, перпендикулярном уплотнению бетона. Расстояние от края конструкции до места установки ультразвуковых преобразователей должно быть не менее 30 мм.

Измерение времени распространения ультразвука в бетоне конструкций следует проводить в направлении, перпендикулярном направлению рабочей арматуры. Концентрация арматуры вдоль выбранной линии прозвучивания не должна превышать 5 %.

Допускается прозвучивание вдоль линии, расположенной параллельно рабочей арматуре, если расстояние от этой линии до арматуры составляет не менее 0,6 длины базы.

При определении прочности бетона в процессе его твердения места установки и число зондов или преобразователей устанавливаются в зависимости от конструктивных и технологических особенностей контролируемых конструкций.

При контроле ускоренного твердения бетона в нескольких однотипных конструкциях преобразователи устанавливают в конструкции, находящейся в наименее благоприятных условиях тепловой обработки.

Преобразователи, устанавливаемые на бортоснастке формы, должны быть электрически и акустически изолированы от нее термостойкими прокладками, например, из пористой резины толщиной не менее 5 мм. Акустический зонд в бетон конструкции устанавливают в процессе формования. При этом не допускается нанесение смазки на рабочие поверхности преобразователей.

Прочность бетона контролируемого участка конструкции определяют по градуировочной зависимости при условии, что измеренное значение скорости (времени) ультразвука находится в пределах между наименьшим и наибольшим значениями скорости (времени) ультразвука в образцах, испытанных при построении градуировочной зависимости.

При контроле прочности бетона в конструкциях по ГОСТ 18105-80 полученное значение прочности принимают за среднюю прочность контролируемого участка конструкции.

Оформление результатов

Результаты измерений заносят в журнал испытаний по форме, указанной в табл. 20.

Рекомендательный библиографический список

1. Попов, Л. Н. Лабораторный контроль строительных материалов и изделий : справочник / Л. Н. Попов. – М. : Стройиздат, 1986. – 349 с.
2. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение : учеб. пособие для строит. спец. вузов / И. А. Рыбьев. – М. : Высш. шк., 2002. – 701 с. – ISBN 5-06-004059-3.
3. Комар, А. Г. Строительные материалы и изделия : учеб. для инж.-эконом. спец. строит. вузов / А. Г. Комар. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1988. – 527 с. – ISBN 5-06-001250-6.
4. Попов, Л. Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий : учеб. пособие для строит. спец. вузов / Л. Н. Попов. – М. : Высш. шк., 1984. – 168 с.
5. Строительные материалы : учебник / под общей ред. В. Г. Микульского. – М. : Изд-во АСВ, 2000. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4.
6. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия : учебник / К. Н. Попов, М. Б. Каддо. – М. : Высш. шк., 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1.
7. Солнцев, Ю. П. Материаловедение : учеб. для вузов / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2004. – 736 с. – ISBN 5-93808-075-4.
8. Горчаков, Г. И. Основы стандартизации и контроля качества продукции : учеб. пособие для вузов / Г. И. Горчаков, Э. Г. Муридов. – М. : Стройиздат, 1977. – 292 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа № 1	6
Лабораторная работа № 2	20
Лабораторная работа № 3	23
Лабораторная работа № 4	30
Лабораторная работа № 5	31
Лабораторная работа № 6	33
Лабораторная работа № 7	37
Лабораторная работа № 8	40
Рекомендательный библиографический список.....	50

ФИЗИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к лабораторным работам

Составители

ТУР Наталья Николаевна

ШЛАПАК Александр Андреевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор Б.Г. Ким

Редактор Е.А. Амирсейидова

Корректор Е.В. Афанасьева

Компьютерная верстка С.В. Павлухиной

ЛР № 020275. Подписано в печать 04.10.05.

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать на ризографе. Усл. печ. л. 3,02. Уч.-изд. л. 3,91. Тираж 200 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.