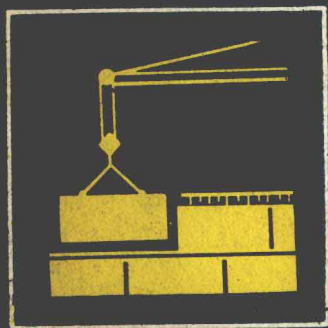
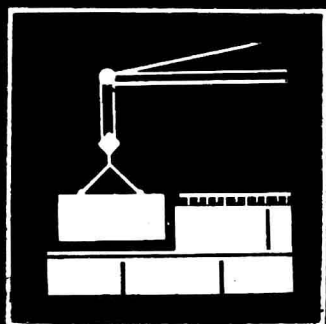


СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ



СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ



ПРЕДИСЛОВИЕ

Огромные масштабы и темпы роста строительства в Советском Союзе обуславливают соответствующие потребности в строительных материалах и в увеличении их производства.

Строительная индустрия СССР располагает мощной промышленностью строительных материалов, изделий и конструкций. По производству цемента, бетона, стекла и ряда других материалов и изделий Советский Союз занимает первое место в мире. Громадный объем используемых строительных материалов требует рационального и экономного их расходования, так как даже небольшой процент экономии в результате составляет значительные суммы и позволяет дополнительно возвести отдельные сооружения или целые комплексы.

Рациональное и экономное расходование строительных материалов зависит от знания разновидностей строительных материалов, их свойств и условий использования. Немаловажную роль в экономии материалов играют правильные хранение и перевозка.

Строительство в лесной промышленности характеризуется раздробленностью объектов строительства, часто малым объемом работ на объекте, удаленностью от центров строительной индустрии, сложностью (а подчас и сезонностью) доставки материалов к объектам и т. д. Специфика строительства требует оперативности в решениях вопросов использования тех или иных строительных материалов и знаний существующей номенклатуры, свойств материалов, условий применения, транспортирования и хранения.

Изложенное выше определило содержание учебника, задачей которого является описание разновидностей основных, широко используемых строительных материалов, их физико-механических свойств и связанных с этим условий применения в строительных конструкциях, а также вопросов транспортирования и хранения.

Учебник составлен в соответствии с программой курса «Строительные материалы» для средних специальных учебных заведений по специальности № 1217 «Строительство и эксплуатация лесовозных дорог».

Предисловие, введение и главы IV—VII написаны Б. В. Сысоевым; главы I и VIII—XII — Л. В. Головановой; главы II, III, XIII и XIV — А. С. Щербаковым.

ВВЕДЕНИЕ

Планы экономического и социального развития СССР предусматривают осуществление большой программы строительных работ в стране. Чтобы строить в таких масштабах, равных которым нет ни в одной стране мира, необходимо обеспечить дальнейшее всестороннее развитие промышленности строительных материалов — основной производственной базы строительства. Эта отрасль должна значительно увеличить выпуск своей продукции и вместе с тем добиться существенных сдвигов в ее структуре за счет расширения массового производства новых материалов, эффективных сборных элементов, легких экономичных крупноразмерных конструкций и изделий улучшенного качества, обеспечивающих повышение уровня индустриализации, снижение материалоемкости и стоимости строительства, а также долговечность, комфортабельность и архитектурную выразительность зданий и сооружений.

Строительные материалы человек начал использовать еще в глубокой древности. Нашим далеким предкам было известно получение извести, гипса, камня, кирпича. Так, археологические раскопки показывают, что глиняный кирпич на территории Советского Союза люди получали уже в IV в. Однако промышленное производство — первые кирпичедельные заводы — начинается в XIX в. Интенсивный прогресс в строительстве за последнее столетие и особенно за последние десятилетия обусловили разработку и создание новых строительных материалов, назначение которых полнее удовлетворять запросы строителей. Такие материалы позволят возводить более совершенные и сложные сооружения.

Процесс создания новых строительных материалов и совершенствование существующих идет непрерывно. В настоящее время строители имеют в своем распоряжении самые различные строительные материалы с большим разнообразием свойств. Это налагает обязанность правильного и экономного их использования (удовлетворение технологических требований здания или сооружения, обеспечение требуемой долговечности, необходимой быстроты возведения и минимальной стоимости).

Задачей курса строительных материалов, в соответствии с программой которого составлен настоящий учебник, является изучение разновидностей и свойств строительных материалов, методов определения этих свойств, а также условий грамотного и наиболее рационального применения того или иного материала в зданиях и сооружениях.

По традиции, принятой на основании многолетнего опыта изучения курса, первая глава учебника посвящена основным свойствам строительных материалов и методике их определения. Отдельные, присущие тому или иному строительному материалу свойства, приводятся в соответствующих разделах. Знание основных свойств строительных материалов необходимо для их объективной и сравнительной оценки при использовании в зданиях и сооружениях. На основе этого раздела могут планироваться и проводиться лабораторные работы и исследования.

Последующие главы содержат в общепринятом порядке описания разновидностей и свойств природных каменных и керамических материалов, минеральных вяжущих веществ, бетонов и железобетонов, строительных растворов, искусственных каменных материалов на основе минеральных вяжущих веществ, органических вяжущих веществ и материалов на их основе, строительных материалов на основе полимеров теплоизоляционных и звукоизоляционных, лакокрасочных и отделочных, стекла и плавленных, лесных материалов, металлов.

Основное внимание в учебнике уделено свойствам строительных материалов и условиям их применения. Вопросы технологии их производства освещены весьма кратко и только при необходимости. Технология строительных материалов — особый предмет, который должен изучаться отдельным курсом.

Последовательность изложения материала в учебнике соответствует программе курса. При необходимости в процессе изучения эта последовательность может быть изменена.

Глава I. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

При выборе и обосновании целесообразности применения строительных материалов для строительства зданий и сооружений необходимо учитывать комплекс важнейших технических свойств: физических, механических, а также особых, которые характеризуют специфические условия работы материалов в конструкциях, а также их специальное назначение (водо- и морозостойкость, огнестойкость и огнеупорность, коррозионная стойкость, биостойкость и др.).

Все основные технические свойства материалов в значительной степени взаимосвязаны и обуславливаются их внутренним строением (структурой) и химическим составом. Конкретные показатели технических свойств характеризуют качество строительного материала; их определяют с помощью методов и приборов по методикам, предусмотренным Государственными стандартами (ГОСТ) или техническими условиями (ТУ) и выражают в числовых величинах.

§ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Физические свойства строительных материалов характеризуются особенностью их физического состояния (например, весовые показатели) или отношения к различным физическим процессам (к диффузии воды, теплопередаче и т. д.). Физическое состояние материалов полно характеризуется объемной и удельной массой, плотностью и пористостью.

Объемная масса — масса единицы объема материала в естественном состоянии (вместе с порами), измеряемая в кг/м^3 , т/м^3 и определяемая по формуле

$$\gamma_0 = m/V_0, \quad (1)$$

где m — масса материала, кг (т); V_0 — объем, занимаемый материалом, м^3 .

Объемная масса является важной физической характеристикой материала и применяется при решении некоторых практических задач, связанных с подсчетом массы строитель-

ных конструкций, определением количества транспортных средств для перевозки материала и т. д., а также характеризует прочностные и теплозащитные свойства материала.

Объемной массой рыхлых и сыпучих материалов (цемент, песка, щебня и др.) называется насыпная объемная масса $\gamma_{о.н}$ т. е. масса единицы объема рыхло насыпанного материала вместе с пустотами. На величину насыпной объемной массы оказывают влияние не только поры в каждом зерне (или куске), но и межзерновые пустоты.

Объемную массу определяют на образцах правильной и неправильной геометрической формы, а также на рыхло насыпанных материалах. В зависимости от формы образца выбирается метод определения объемной массы. Если испытывают образец материала правильной формы (рис. 1), измеряют штангенциркулем его линейные размеры и вычисляют объем. Затем образец взвешивают на технических весах, определяют массу испытуемого материала и вычисляют объемную массу по вышеприведенной формуле. Если образец имеет неправильную геометрическую форму, его объем определяют по разнице в массе образца на воздухе и в воде. Определение объемной массы на образцах неправильной формы производят методом гидростатического взвешивания (рис. 2) и вычисляют по известной формуле.

Объемную массу пористых строительных материалов определяют также методом гидростатического взвешивания, но при этом образцы предварительно покрывают тонким слоем расплавленного парафина для предотвращения проникания воды в поры, так как объемная масса этих материалов при увлажнении резко повышается.

Для определения насыпной объемной массы рыхлых и сыпучих материалов применяется стандартная воронка (рис. 3). Под воронку устанавливают заранее взвешенный сосуд m_1 оп-

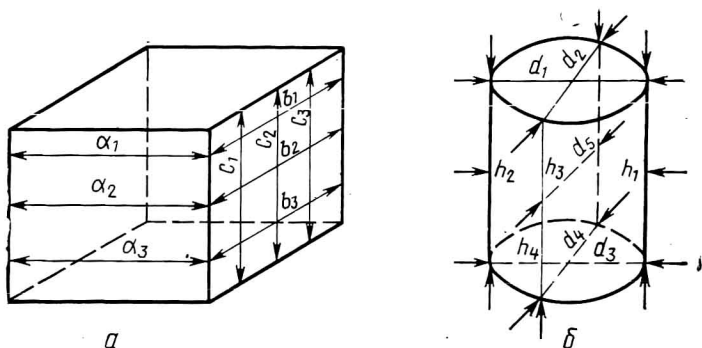


Рис. 1. Измерение образцов:
а — кубической формы; б — цилиндрической формы

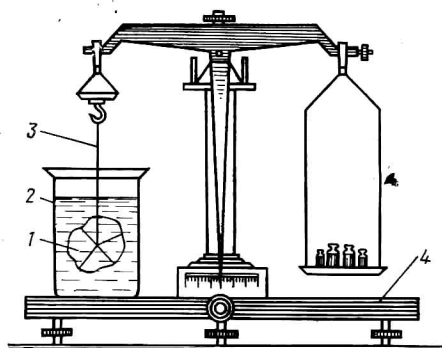


Рис. 2. Весы для определения объема образца неправильной геометрической формы:

1 — образец; 2 — сосуд с водой; 3 — крепление образца; 4 — технические веса

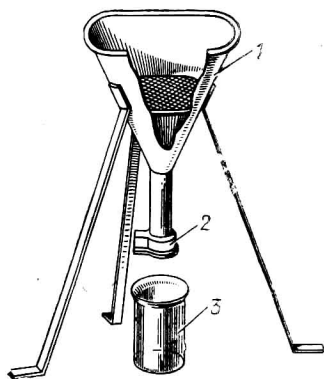


Рис. 3. Стандартная воронка для определения объемной насыпной массы:

1 — воронка с материалом; 2 — затвор; 3 — сосуд

ределенной вместимости V_0 . Вместимость сосуда зависит от вида и крупности испытуемых материалов (например, для песка она равна 1 л). Испытуемый материал помещают в воронку, имеющую в нижней части затвор. Во время испытания открывают затвор воронки и заполняют сосуд с высоты 10 см до образования пирамидки из материала над сосудом. Затем пирамидку срезают линейкой и взвешивают сосуд с материалом m_2 . Объемную насыпную массу определяют в г/см^3 по формуле

$$\gamma_{0,н} = (m_2 - m_1) / V_0 = m / V_0. \quad (2)$$

Удельная масса — масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии (без пор) — определяется по формуле

$$\gamma = m / V, \quad (3)$$

где m — масса материала, г; V — абсолютный объем, занимаемый материалом, см^3 .

Удельная масса выражается в г/см^3 , однако ее часто относят к практически постоянной удельной массе воды равной 1. В этом случае удельную массу условно считают безразмерной величиной.

Теоретически абсолютно плотных материалов нет, но практически можно считать, что у таких материалов как сталь, стекло, битум и других величина объема внутренних пор нич-

тожно мала и их можно отнести к абсолютно плотным материалам. Большинство строительных материалов имеет поры, поэтому у них удельная масса всегда больше объемной.

Удельную массу материалов определяют с помощью прибора, называемого объемомером Ле-Шателье-Кандло, или пикнометром (рис. 4). Прибор представляет собой колбу с узким длинным горлом, расширяющимся в средней части. Выше и ниже расширяющейся части нанесены две черты, между которыми обозначен объем равный 20 см^3 . Прибор наполняют инертной по отношению к испытываемому материалу жидкостью до нижней черты. Высушенный до постоянной массы материал измельчают и просеивают. Затем на технических весах отвешивают $60\text{--}70 \text{ г}$ измельченного в порошок материала и небольшими порциями засыпают в прибор до тех пор пока уровень жидкости не достигнет верхней черты. Остаток материала взвешивают. Разность между первоначальной массой и массой остатка составляет массу испытуемого материала, всыпанного в прибор, а ее объем равен объему вытесненной материалом жидкости.

Удельную массу материалов учитывают при определении пористости и плотности, а также в расчетах, например при определении компонентов бетона и т. д.

Плотность — степень заполнения объема материала веществом, из которого он состоит. Она выражается отношением объема абсолютно плотного материала V к объему его в естественном состоянии V_0 и определяется по формуле

$$P = V/V_0, \quad (4)$$

или отношением объемной массы γ_0 к удельной массе γ материала, выражаемым абсолютной величиной или в процентах по формулам

$$P = \gamma_0/\gamma \text{ или } P = (\gamma_0/\gamma) \cdot 100. \quad (5)$$

Пористость — степень заполнения объема материала порами. По величине пористость дополняет плотность до единицы или до 100% и выражается абсолютной величиной или в процентах по формулам

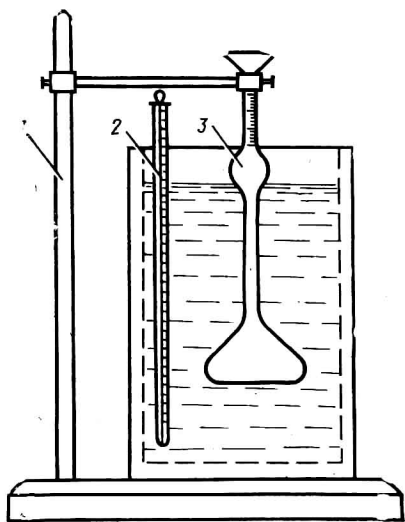


Рис. 4. Прибор для определения удельной массы:

1 — штатив; 2 — термометр; 3 — колба Ле-Шателье-Кандло

$$P = 1 - \gamma_0/\gamma \text{ или } P = (1 - \gamma_0/\gamma) 100. \quad (6)$$

В материале следует различать поры и пустоты. Поры — это ячейки в материале, которые могут быть заполнены воздухом или водой. Размеры пор колеблются в широком диапазоне. Материалы, у которых величина пор менее сотых долей миллиметра, относятся к мелкопористым; материалы, имеющие поры от десятых долей миллиметра до 2 мм и более, относятся к крупнопористым. Поры в материале могут быть закрытыми и открытыми. Закрытые поры полностью изолированы друг от друга и от внешней среды; открытые поры обычно сообщаются между собой и с окружающей средой. Поры трудно различить невооруженным глазом, и их наличие определяют по разнице между удельной и объемной массами.

В настоящее время к более точным и совершенным способам определения пористости относятся ртутная порометрия, оптический, фотоэлектронный и ультразвуковой методы. Размер и характер пор в значительной степени влияют на основные технические свойства строительных материалов.

Крупные полости, расположенные между зернами (или кусками) рыхло насыпанного материала, называют межзерновыми пустотами. Объем межзерновых пустот соответствует пустотности материала и вычисляется по формуле для определения пористости материала.

Плотность материала имеет большое практическое значение. Она обеспечивает высокую механическую прочность и долговечность материалов и конструкций, а характер пористости материала позволяет более надежно прогнозировать теплоизоляционные, звукоизоляционные и другие свойства.

Величины удельной, объемной массы и пористости строительных материалов колеблются в широких пределах (табл. 1).

Таблица 1

Материал	Удельная масса, г/см ³	Объемная масса, кг/м ³	Пористость, %
Гранит	2,7—3,0	2500—2900	3,5—7,5
Известняк (плотный)	2,4—2,6	1600—2400	7,8—33,4
Песок	2,5—2,6	1500—1700	33,5—40,0
Глина	2,5—2,7	1600—1800	33,7—36,0
Кирпич:			
глиняный обыкновенный	2,6—2,7	1600—1900	29,7—38,5
глиняный пористый	2,6—2,7	600—1400	48—77
силикатный	2,4—2,6	1800—2000	23—25
Бетон тяжелый (обычный)	2,5—2,6	1800—2500	8,8—28
Дуб	1,6—1,65	700—900	45,5—56
Сосна	1,55—1,6	400—600	62,5—74,2
Минеральная вата	2,6—2,8	200—300	89,2—92,3
Пластмасса	0,96—2,2	20—1400	0—95,0
Сталь	7,8—7,9	7850	0—0,4

Отношение материала к статическому или циклическому воздействию воды или пара характеризуется величинами водопоглощения, влагоотдачи, влажности, гигроскопичности, водопроницаемости.

Водопоглощение — способность материала впитывать и удерживать воду при непосредственном контакте с ней. Это свойство характеризуется степенью заполнения объема пор водой. Водопоглощение выражают в процентах от массы сухого материала, т. е. водопоглощение по массе (массовое водопоглощение) W_m , или в процентах от его объема, т. е. объемное водопоглощение W_o , и определяют по формулам

$$W_m = [(m_1 - m)/m] 100; \quad (7)$$

$$W_o = [(m_1 - m)/V_o] 100, \quad (8)$$

где m — масса материала в сухом состоянии, г; m_1 — масса материала в водонасыщенном состоянии, г; V_o — объем материала в естественном состоянии, см³.

Из указанных двух выражений после почленного деления устанавливается зависимость $W_o/W_m = m/V_o = \gamma_o$. Из нее следует, что объемное водопоглощение численно равно водопоглощению по массе, умноженному на величину объемной массы материала, т. е.

$$W_o = W_m \gamma_o.$$

Объемное водопоглощение отражает степень заполнения пор материала водой, которое всегда меньше пористости, так как вода проникает не во все замкнутые поры и удерживается в открытых пустотах. Поэтому объемное водопоглощение в отличие от истинной (полной) пористости, определяемой по формуле (6), называют кажущейся пористостью материала.

При определении водопоглощения пользуются различными методами: методом постепенного погружения материала в воду с температурой 20°C, методом кипячения материала, методом насыщения водой под давлением.

Водопоглощение строительных материалов изменяется в широких пределах. Например, водопоглощение по массе глиняного обыкновенного кирпича составляет от 8 до 20%, тяжелого бетона — от 1,5—3%, каменных материалов (гранита) — от 0,5 до 0,7%.

Влагоотдача — способность материала отдавать влагу в окружающую среду.

Влагоотдача характеризуется количеством воды, выраженным в процентах от массы или объема испытуемого материала, теряемым в сутки при относительной влажности воздуха 60% и температуре 20°C.

Влагоотдаче материала способствуют определенные условия окружающей среды: повышение температуры и понижение

влажности воздуха, изменение движения воздушного потока и другие. В зависимости от условий окружающей среды материал в конструкциях обладает определенной влажностью, величина которой постепенно снижается по мере высыхания материала. Через некоторое время после строительства здания или сооружения устанавливается равновесие между влажностью окружающего воздуха и материала. Это состояние равновесия называется воздушно-сухим состоянием материала.

Влажность характеризуется количеством воды, выраженным в процентах от массы сухого материала.

Гигроскопичность — способность материала поглощать влагу из окружающего воздуха при изменении его влажности. Поглощенная вода, которая удерживается в порах или капиллярах (микропорах, не видимых невооруженным глазом) материала, называется гигроскопической. Гигроскопичность выражается отношением массы поглощенной влаги при относительной влажности воздуха 100% и температуре 20°C к массе сухого материала.

Влажность и гигроскопичность отрицательно влияют на прочность и долговечность конструкций, так как многократное попеременное воздействие увлажнения и высыхания приводят к отрицательным структурным изменениям в материале.

Водопроницаемость — способность материала пропускать воду под давлением. Характеристикой водопроницаемости служит количество воды, прошедшее в течение 1 ч через 1 см² поверхности материала при заданном давлении воды в 1 Н.

Для кровельных и гидроизоляционных материалов на основе органических вяжущих веществ водонепроницаемость служит важнейшим показателем качества. Для определения водонепроницаемости рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов применяют специальный прибор (рис. 5). Образец размером 130×130 мм помещают между резиновыми прокладками закрепляющего устройства прибора. Стекланный сосуд с водой устанавливают на такой высоте, при которой расстояние между верхним уровнем воды в сосуде и нижней поверхностью образца, отмеченной на градуированной линейке, не станет равным высоте водяного столба. В результате испытания на внешней поверхности образца не должно появиться признаков просачивания воды. Давление воды обуславливается ГОСТом на испытуемый материал (например, для испытания кровельного толя принимается давление водяного столба высотой 50 мм).

Водопроницаемость характеризуется также периодом времени, через которое материал пропускает воду под определенным давлением.

Отношение материала к статическому или циклическому воздействию тепла характеризуется следующими физическими

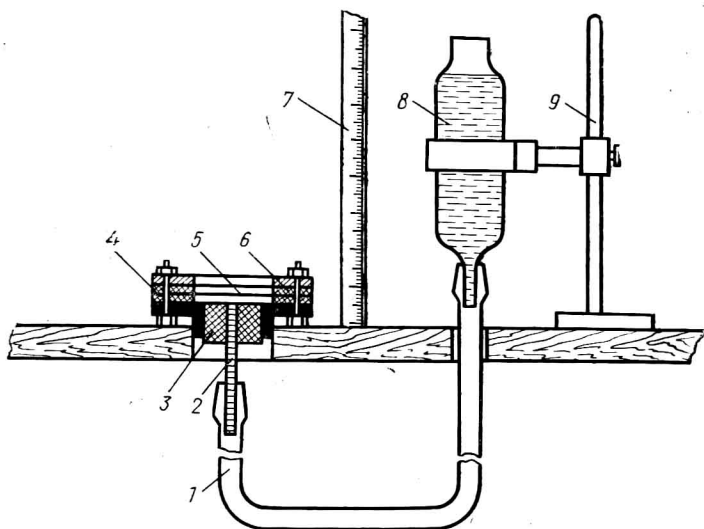


Рис. 5. Прибор для определения водонепроницаемости рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов:

1 — резиновая трубка; 2 — стеклянная трубка; 3 — резиновая пробка; 4 — резиновые прокладки; 5 — образец; 6 — закрепляющее устройство; 7 — градуированная линейка; 8 — стеклянный сосуд с водой; 9 — подставка для сосуда

свойствами: теплопроводностью, теплоемкостью, огнестойкостью, огнеупорностью.

Теплопроводность — способность материала пропускать через свою массу тепловой поток, возникающий при разности температур на противоположных его поверхностях. Теплопроводность материалов характеризуется величиной коэффициента теплопроводности λ Вт/(м·°С), т. е. 1 ккал/м·ч·град = 1,1630 Вт/(м·°С) и определяется по формуле

$$\lambda = Q \delta / F (t_1 - t_2) T, \quad (9)$$

где Q — количество тепла, Дж; F — площадь материала, м²; δ — толщина материала, м; T — время прохождения теплового потока, с; $t_1 - t_2$ — разность температур на противоположных поверхностях материала, °С.

Теплопроводность материала зависит от его химического состава и структуры, объемной массы, характера и размера пор, влажности и температуры, при которой идет процесс тепловыделения.

У крупнопористых, с сообщающимися между собой порами, а также увлажненных материалов в результате увеличения конвекции (переноса) теплового потока и высокого коэффициента теплопроводности воды, равного 0,59, резко возрастает величина коэффициента теплопроводности. Теплозащитные свойства таких материалов очень низки.

Мелкопористые материалы с замкнутыми, не сообщающимися между собой порами, заполненными воздухом, обладают высокими теплозащитными свойствами. Коэффициент теплопроводности воздуха примерно в 25 раз ниже коэффициента теплопроводности воды и составляет 0,023 при температуре 20°C. Теплопроводность большинства строительных материалов резко возрастает при их нагревании.

Теплопроводность материалов, имеющих волокнистое или слоистое строение структуры, значительно изменяется в зависимости от направления теплового потока по отношению к направлению волокон и слоев. Например, у сосны коэффициент теплопроводности вдоль волокон в 2 раза больше, чем поперек, и равен 0,35—0,17.

Теплопроводность имеет большое практическое значение при определении требуемой толщины ограждающих конструкций, а также для теплоизоляции холодильных установок и тепловых агрегатов.

Теплоемкость — способность материала поглощать тепло при нагревании. Теплоемкость материала оценивается удельной теплоемкостью или коэффициентом теплоемкости c , Дж/кг·°C и определяется по формуле

$$c = Q/m(t_2 - t_1), \quad (10)$$

где Q — количество тепла, затраченное на нагревание материала, Дж; m — масса материала, кг; $t_2 - t_1$ — разность температуры материала до и после нагревания, °C.

Теплоемкость материала используется в расчетах при определении теплоизолирующей способности ограждающих конструкций и стен печей, а также требуемой температуры подогрева кладочных растворов и материалов в зимних каменных и бетонных работах.

Для стен и перекрытий отапливаемых зданий следует применять материалы с более высоким коэффициентом теплоемкости. Наибольшей удельной теплоемкостью обладают лесные материалы ($c=0,6$), наименьшей — металлы (у стали $c=0,115$), для цементных бетонов коэффициент теплоемкости изменяется в пределах от 0,18 до 0,22. С повышением влажности материала увеличивается удельная теплоемкость материалов.

§ 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Механические свойства характеризуют способность материалов сопротивляться воздействию внешних и внутренних напряжений (силовых, тепловых, усадочных и др.), сохраняя свои первоначальные формы, размеры и структуру. Механи-

ческие свойства подразделяются на прочностные и деформационные.

К прочностным характеристикам строительных материалов относятся: прочность при сжатии, растяжении, изгибе; твердость; истираемость; сопротивление удару.

Деформационные свойства характеризуются упругостью, пластичностью, текучестью, хрупкостью.

Прочность — это способность материала не разрушаться под действием возникающих в нем напряжений от различных нагрузок. Прочность материалов характеризуется пределом прочности, соответствующим нагрузке, под действием которой разрушается материал.

Предел прочности при сжатии или растяжении R , Н/м², равен величине разрушающей нагрузки P , Н, приходящейся на 1 м² площади поперечного сечения образца материала F , м²;

$$R = P/F. \quad (11)$$

Пределы прочности при сжатии и растяжении определяются нагружением до разрушения стандартного образца материала на гидравлических прессах и разрывных машинах. Формы и размеры испытываемых образцов принимаются в зависимости от вида материала, метода испытания и устанавливаются ГОСТами. Образцы из цементного бетона для испытания на прочность при сжатии имеют форму кубиков со сторонами 10; 15; 20 и 30 см. Иногда определение прочности при сжатии производят на образцах в виде цилиндров и призм, которые можно высверливать из материалов, находящихся непосредственно в конструкциях зданий и сооружений. Чем менее однородный материал по своей структуре, тем больше должен быть размер образца.

При испытании бетона на прочность при растяжении изготавливаются образцы-восьмерки (рис. 6). Перед испытанием определяют фактическую площадь сечения образца. Испытание образца-восьмерки на осевое растяжение производят на разрывной машине. Определение предела прочности при сжатии материалов производится на гидравлическом прессе (рис. 7). Достигнутое в процессе испытания максимальное усилие принимается за величину разрушающей нагрузки, т. е. $P = F_n M$, где F_n — площадь поршня пресса, м²; M — показание манометра, Н/м².

Природные и искусственные каменные материалы (гранит, бетон, кирпич) хорошо сопротивляются сжатию, но хуже растяжению. Поэтому они применяются в конструкциях, которые в процессе эксплуатации испытывают сжимающие напряжения (фундаменты, колонны). Другие материалы (древесина, железобетон, сталь) хорошо выдерживают как сжимаю-

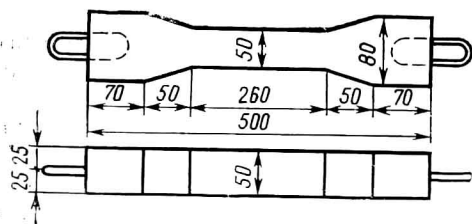


Рис. 6. Образцы-восьмерки для испытания бетона на осевое растяжение

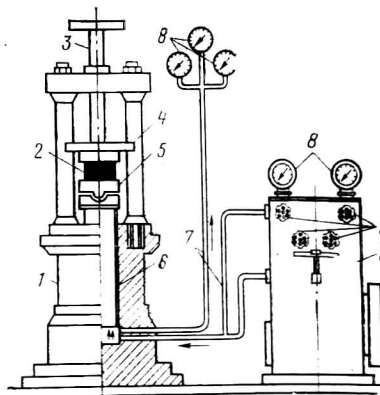


Рис. 7. Схема гидравлического пресса мощностью 30 т:

1 — станина; 2 — испытуемый образец; 3 — винтовое устройство; 4 — верхняя опорная плита; 5 — нижняя опорная плита с шаровой поверхностью; 6 — поршень; 7 — маслопровод; 8 — манометры; 9 — вентили; 10 — маслонасос с электродвигателем

щие, так и растягивающие напряжения. Их целесообразно применять в конструкциях, работающих на растяжение и изгиб (плиты перекрытий, балки).

При определении прочности при изгибе используют образцы в виде балочек стандартного размера. При одном сосредоточенном грузе по середине пролета балки прямоугольного сечения предел прочности при изгибе $R_{изг}$, Н/м², вычисляют по формуле

$$R_{изг} = 3Pl/2bh^2. \quad (12)$$

При двух сосредоточенных и равных грузах, расположенных симметрично относительно горизонтальной оси балки, предел прочности при изгибе вычисляют по формуле

$$R_{изг} = 3P(l-a)/bh^2, \quad (13)$$

где P — разрушающая сила, Н; l — расстояние между опорами, м; a — расстояние между грузами, м; b и h — соответственно ширина и высота поперечного сечения балки, м.

Сравнительные значения пределов прочности некоторых строительных материалов приведены в табл. 2.

Твердость — способность материала сопротивляться изменению формы при проникновении в него более твердых тел. В зависимости от вида материала твердость определяется различными способами. К наиболее распространенным относится метод определения твердости природных каменных