

**ВЫСШЕЕ
ОБРАЗОВАНИЕ**



СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
Д-РА ТЕХН. НАУК, ПРОФ. Г. И. ГОРЧАКОВА

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебника для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Производство строительных изделий»
высших учебных заведений



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1982

ББК 38.3

С86

УДК 691(075.8)

М. И. Хигерович, Г. И. Горчаков, И. А. Рыбьев, А. Г. Домокеев,
Е. А. Ерофеева, Л. П. Орентлихер, Л. Н. Попов, К. Н. Попов

Рецензенты:

кафедра Воронежского инженерно-строительного института
(зав. кафедрой д-р техн. наук А. А. Федин);
д-р техн. наук Б. В. Гусев (НИИЖБ Госстроя СССР)

Строительные материалы. Учебник для студентов
С86 вузов /Под ред. Г. И. Горчакова. — М.: Высш. школа,
1982. — 352 с., ил.

Авт. указ. на обороте тит. л.

В пер.: 1 р. 10 к.

В книге изложены научные основы строительного материаловедения, рассмотрены количественные зависимости между структурными характеристиками и свойствами материалов. Особое внимание уделено роли материала в обеспечении долговечности конструкций, снижения расхода топлива и энергии.

Предназначается в качестве учебника для студентов строительнотехнологических специальностей вузов и факультетов.

С $\frac{3203000000-339}{001(01)-82}$ 118-82

ББК 38.3

6С3

**Моисей Исаевич Хигерович, Григорий Иванович Горчаков,
Игорь Александрович Рыбьев, Александр Георгиевич Домокеев,
Екатерина Алексеевна Ерофеева, Лидия Петровна Орентлихер,
Лев Николаевич Попов, Кирилл Николаевич Попов**

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Зав. редакцией Б. А. Ягунов. Редактор Л. К. Олейник. Младший редактор Г. К. Ионова. Худ. редактор Т. А. Дурасова. Техн. редактор Э. В. Нуждина. Корректор Р. К. Косинова

ИБ № 3613

Изд. № Стр-379. Сдано в набор 08.12.81. Подп. в печать 10.05.82. Т-06757. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 22 усл. печ. л. 22 усл. кр.-отг. 23,75 уч.-изд. л. Тираж 40000 экз. Зак. № 214. Цена 1 р. 10 к. Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский просп., 15.

Посвящается светлой памяти заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора
Николая Анатольевича Попова

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Строительные материалы» в учебном плане подготовки инженеров-строителей и технологов служит базой для изучения профилирующих технологических дисциплин, архитектуры, основ строительных конструкций, экономики и др. Это единственная дисциплина, которая помогает технологу-строителю изучить основы строительного материаловедения в целом, прослеживая общую для всех материалов связь свойств с их составом и строением, решая оптимизационные задачи получения материалов с заданными свойствами и целесообразного их выбора. Этот курс включает сведения о сырьевых материалах и лишь общие представления о принципах изготовления материалов в той мере, в которой это необходимо для понимания состава и строения готового продукта. Главное же внимание уделено определяющему влиянию внутренней структуры материала на его строительно-технические свойства, от которых зависит область и условия рационального применения данного материала. Исключение составляют главы, посвященные материалам, с которыми учащийся не встречается в технологических дисциплинах (природные каменные материалы, асбестоцементные и стеклянные изделия, битумные и лакокрасочные материалы). В этих главах технология материалов изложена более подробно.

В теории строительных материалов на первый план выдвигаются принципиальные научные положения, изложенные с использованием законов и фундаментальных данных смежных наук: химии, физики, физической химии, физики твердого тела, реологии, кристаллографии и минералогии. С точки зрения учебно-методической такое пронизывание учебника принципиальными положениями научного характера с одновременным уменьшением количества рецептурных и справочных данных полезно, так как понимание учащимся сущности явлений подготавливает его к самостоятельному анализу последующей информации и принятию инженерных решений.

Построение учебника обусловлено программой курса «Строительные материалы» и классификацией строительных материалов. Каждый раздел объединяет определенную группу родственных материалов, что позволяет выявить общие закономерности формирования их структуры и свойств.

Во всех главах учебника излагаются сведения, знакомящие учащихся с основными направлениями технического прогресса в области строительных материалов, определенными решениями XXVI съезда КПСС, постановлениями партии и правительства.

Усвоению методов правильного выбора и применения материалов содействует сопоставление технико-экономических данных, приведенных в учебнике (например, по использованию теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях, экономии топливно-энергетических ресурсов и др.).

На конкретных примерах учащийся знакомится с автоматизацией производственных процессов как с одним из слагаемых дальнейшего технического прогресса в строительной индустрии.

Ознакомление учащихся с вопросами охраны окружающей среды произведено на примере использования побочных продуктов промышленности и лесных богатств. Здесь же показана эффективность комплексной безотходной переработки сырьевых ресурсов. В соответствующих главах учебника читатель найдет также указания о повышении безопасности и охраны труда.

Сведения, изложенные в учебнике, могут быть полезны и для инженерно-технических работников строительной индустрии.

Авторы выражают благодарность рецензентам учебника: коллективу кафедры строительных материалов Воронежского инженерно-строительного института (зав. кафедрой д-р техн. наук А. А. Федин) и д-ру техн. наук Б. В. Гусеву за их ценные замечания.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Строительные материалы — это основа строительства. Затраты на материалы составляют более половины общей стоимости строительно-монтажных работ и около одной трети капитальных вложений в народное хозяйство СССР. Производство строительных материалов связано с добычей и переработкой огромных количеств сырья (более 2 млрд. т ежегодно). Только на минеральные строительные материалы приходится более 25 % общих грузовых перевозок железнодорожным транспортом и более 57 % — речным транспортом СССР. Снижение массы материалов позволяет сократить транспортные затраты, укрупнить конструкции, уменьшить трудоемкость и стоимость строительства. Каждый процент снижения затрат на строительные материалы экономит более 400 млн. руб. ежегодно.

В курсе «Строительные материалы» учащийся изучает основы получения материалов оптимального строения, имеющих заданные свойства, приобретая знания, необходимые для выбора материала с наиболее подходящими свойствами и определения условий его правильного применения — транспортирования, хранения, монтажа или укладки.

К числу существенных методических особенностей учебника следует отнести наличие в нем элементов мировоззренческого аспекта в преподавании курса. Ленинская идея о союзе марксистской философии с передовым естествознанием и опирающимися на него техническими науками приобретает особое значение в свете современной научно-технической революции. Поэтому при рассмотрении отдельных технических вопросов в кратком виде приведены положения, показывающие, как, руководствуясь методами марксистско-ленинской диалектики, удастся вскрыть некоторые закономерности развития технологии материалов и решать при этом сложные научно-технические вопросы в строительном материаловедении.

Промышленность строительных материалов получила значительное развитие уже в 1928—1940 гг., когда были реконструированы действующие предприятия и построен ряд заводов по производству вяжущих материалов, кирпича, стекла, рубероида, асбестоцементных и других изделий.

Для быстрого развития производства строительных материалов в послевоенный период исключительно важное значение имели решения съездов КПСС, постановления ЦК КПСС и Совета Минист-

ров СССР по вопросам строительства. В них предусматривалось увеличение выпуска эффективных строительных материалов, легких крупноразмерных конструкций улучшенного качества с высокой степенью заводской готовности, обеспечивающих повышение уровня индустриализации, снижение материалоемкости и стоимости строительства.

СССР уже опередил развитые капиталистические страны по выпуску ряда важнейших строительных материалов. Еще в 1962 г. Советский Союз по производству цемента обогнал США и вышел также на первое место в мире по производству сборного железобетона, асбестоцементных листовых материалов и труб, оконного стекла и др.

XXVI съезд КПСС наметил увеличение объема производства строительных материалов в одиннадцатой пятилетке на 17—19 %. Основной задачей в капитальном строительстве является повышение эффективности капитальных вложений на базе индустриализации, означающей перевод строительства на непрерывный процесс комплексной механизированной сборки зданий и сооружений из укрупненных готовых конструкций и узлов заводского изготовления. Поэтому развиваются домостроительные и сельские строительные комбинаты, а также предприятия по производству прогрессивных облегченных строительных конструкций и изделий.

Основным материалом современного строительства является сборный железобетон — универсальный и долговечный материал. Общий объем его производства возрос в 1980 г. до 121 млн. м³, а качественные показатели будут совершенствоваться путем снижения объемной массы, совмещения бетона с полимерными и другими специальными материалами.

В промышленности строительных материалов предпочтение отдается менее энергоемким технологиям и выпуску материалов и изделий, обеспечивающих экономию топливно-энергетических ресурсов, поэтому предусматривается значительное увеличение производства эффективных теплоизоляционных материалов, а также сборных конструкций для наружных стен зданий, имеющих повышенное термическое сопротивление. Для охраны окружающей среды и экономии топливно-энергетических ресурсов большое значение приобретает безотходное производство строительных материалов, включающее комплексную переработку побочных продуктов промышленности: металлургических шлаков, зол ТЭС и шламов в вяжущие вещества, заполнители для бетона, теплоизоляционные материалы.

Быстро возрастает производство полимерных строительных материалов и изделий. Особенно эффективны легкие конструкции из стеклопластиков, полимерные материалы для полов, санитарно-техническое оборудование, трубопроводы из пластмасс, теплоизоляционные и лакокрасочные материалы.

Широкое применение в строительстве получают клееные деревянные конструкции, эффективные изделия из стекла, керамики, асбестоцемента и др.

В учебнике отражены достижения науки и техники в области строительных материалов, использовано учение о связи состава и внутреннего строения материала с его свойствами. Всесторонне освещены современные химические методы регулирования свойств строительных материалов (гидрофобизация и пластификация вяжущих материалов, бетонов и др.). Развитая теория строения бетона позволила объяснить физический смысл закона прочности и особенности деформативных свойств, уяснить главные факторы, определяющие проницаемость и морозостойкость. На этой теоретической основе рассмотрены новые способы придания бетону специальных свойств, включая совмещение его с полимерами, дисперсное армирование и др.

Введена специальная глава, посвященная акустическим материалам и изделиям, написанная в соответствии с новыми нормативными документами.

Из числа лакокрасочных материалов подробно рассмотрены полимерные, эмульсионные красочные составы, не требующие затрат природного пищевого сырья.

За годы Советской власти промышленность строительных материалов и изделий превратилась в крупную отрасль индустрии, располагающую механизированными и автоматизированными предприятиями, квалифицированными кадрами и крупной научной базой.

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Строитель должен умело выбирать и правильно применять строительные материалы в соответствии с назначением зданий и сооружений, их конструктивными особенностями, характером действия внешней среды, а также технико-экономическими и другими условиями. Инженеры-строители и технологи, стремясь к всемерному повышению эффективности и качества строительства, должны хорошо знать свойства материалов.

В строительстве применяют разнообразные материалы. Чтобы облегчить изучение их особенностей, технические свойства материалов удобно свести в следующие четыре группы: физические, механические, физико-химические и химические.

Физические свойства материала характеризуют какую-либо особенность его физического состояния (например, плотность, объемную массу) или определяют отношение материала к различным физическим процессам (например, к прониканию воды, к прохождению тепла, электрического тока).

Механические свойства в большинстве случаев определяют способность материала сопротивляться действию внешних механических сил, вызывающих сжатие, растяжение, изгиб, срез, кручение, истирание.

Физико-химическими принято называть такие свойства, для которых характерно влияние физического состояния вещества на протекание определенных химических процессов (например, дисперсность цемента, влияющая на кинетику его химических реакций с водой).

Химические свойства характеризуют способность материала к химическим превращениям под влиянием веществ, с которыми данный материал находится в соприкосновении. Здесь подразумеваются и полезные превращения (например, цементного порошка в прочный цементный камень) и вредные (например, разрушение цементного камня агрессивными жидкостями, действующими на данную конструкцию).

Свойства материалов в большой мере зависят от их строения. Например, коэффициент теплопроводности λ связан с пористостью материала P . Чем больше пористость, тем меньше коэффициент

теплопроводности. Так, λ ячеистых бетонов меньше λ легких и обычных бетонов, вследствие того, что P ячеистых бетонов больше P легких и обычных бетонов.

Строение, а следовательно, и свойства природных материалов зависят от их происхождения и условий образования, строение же и свойства искусственных строительных материалов связаны с свойствами сырья, из которого они изготовлены, и с технологическими приемами изготовления и обработки материалов. Для пояснения этого положения приведем следующие примеры.

Древесина, т. е. освобожденная от коры ткань древесных стволов, отличается легкостью (сравнительно малой объемной массой) и в то же время большой прочностью. Строение древесины и ее свойства обусловлены происходившими на протяжении многих веков процессами приспособления деревьев к условиям среды при борьбе видов за существование (по Дарвину). И в самом деле, ствол дерева несет тяжелую крону и должен хорошо сопротивляться сжатию, но вместе с тем должен сопротивляться изгибу, чтобы выдержать действие ветров, бурь, ураганов. Но в то же время ствол дерева должен быть построен из относительно легкого материала, иначе потребовалось бы чрезмерно сильное развитие корневой системы, поэтому только те виды деревьев выжили в эволюционной борьбе за существование, стволы которых образованы прочным и вместе с тем легким материалом.

Из одной и той же магмы в зависимости от тектонических условий может образоваться и очень плотная, и очень пористая горная порода (подробнее см. гл. II).

На основе одного и того же вяжущего вещества, например портландцемента, можно, изменяя свойства и дозировку других компонентов сырьевой смеси и варьируя технологию производства, получать бетоны с различной структурой, разных видов и разного назначения: особо тяжелые, обычные, легкие, особо легкие ячеистые и др.

Следовательно, существует глубокая связь между свойствами, строением материала и условиями его образования в природе или с управляемыми процессами заводского изготовления.

Свойства строительных материалов обычно оценивают количественно, т. е. по числовым показателям, определяемым посредством испытаний, а реже устанавливаемым расчетным путем.

1.2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Сначала укажем свойства, характеризующие особенности физического состояния материала.

Плотность (ρ) — это масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии, г/см^3 ,

$$\rho = m/V_a.$$

Плотность твердых материалов определяют, устанавливая объем, занимаемый данным образцом без пор, каверн, трещин, присущих

этому материалу в его обычном состоянии. Для этого испытуемый материал предварительно тонко измельчают, а затем определяют суммарный объем, занимаемый частицами порошка. Зная массу единицы объема, устанавливают абсолютную плотность материала. Обычно пользуются численными значениями относительной плотности, выражающей плотность материала по отношению к плотности воды; это безразмерная величина.

Плотность подавляющего большинства неорганических природных и искусственных строительных материалов (кроме металлов) находится в очень узких пределах (2,4—3,1). Ниже будет показано, что столь незначительный диапазон значений плотности связан с местоположением химических элементов, образующих неорганические материалы, в Периодической системе Менделеева. Почти все неорганические строительные материалы при всем их многообразии содержат в основном кремний, алюминий, кальций, магний, кислород. Это понятно, так как земная кора, из которой мы добываем природные материалы и сырье для искусственных неорганических материалов, на 97 % состоит из соединений кремния — кремнезема, силикатов, алюмосиликатов.

В Периодической системе элементов в одном периоде расположены магний, алюминий, кремний, а в одной группе с магнием — кальций в соответствии с близкими значениями атомных масс (Mg — 24,3; Al — 26,9; Si — 28,1; Ca — 40,1). Д. И. Менделеев указывал, что химические, а часто и физические свойства веществ, в том числе их плотность, находятся в периодической зависимости от атомных весов элементов.

Плотность органических материалов (древесины, полимеров, битумов) тоже находится в сравнительно узких пределах от 1 до 1,6 г/см³. Это также связано с расположением важнейших элементов, характерных для органических материалов, в Периодической системе. Так, углерод, азот, кислород соответственно их атомным весам (12,0; 14,0 и 16,0) находятся рядом в таблице Менделеева.

Объемная масса (m_v) — это масса единицы объема материала в естественном его состоянии, т. е. в устанавливаемый объем входят поры, каверны и трещины, присущие данному материалу.

Определение объемной массы производят чаще всего в образцах, имеющих правильную геометрическую форму (например куба, цилиндра). Измеряют размеры образца, вычисляют его объем V_e , взвешиванием устанавливают массу образца в г/см³ или кг/м³:

$$m_v = m/V_e.$$

Объемная масса природных и искусственных материалов колеблется в очень больших пределах, например: объемная масса стеклопоро составляет 10—20, газобетона — 250—1200, обычного (тяжелого) бетона — 2250—2500 кг/м³.

Столь широкий диапазон значений объемной массы материалов объясняется тем, что они по-разному «наполнены» воздухом. Одно из основных направлений технического прогресса в строительстве заключается в уменьшении массы зданий и сооружений, поэтому

воздух в виде мелких включений «пузырьков», заполняющий поры, стал важным компонентом многих строительных материалов. Объемная масса материала тем ниже, чем больше его пористость.

Воздух, находящийся в порах, значительно хуже проводит тепло, чем твердое вещество материала; поэтому по значениям величины объемной массы материалов можно судить (в первом приближении) об их теплопроводности. Так как при строительстве отапливаемых зданий толщина их наружных стен определяется с учетом теплопроводности материала, то, зная объемную массу материала, можно грубо приближенно представить себе, какой должна быть толщина стены. Если стена из глиняного или силикатного кирпича, объемную массу которых в среднем можно принять равной 1800 кг/м^3 , должна по теплотехническим расчетам составить 64 см, то стена из газобетона объемной массой, например, в 900 кг/м^3 может быть примерно в два раза тоньше и, принимая во внимание объемную массу, будет в четыре раза легче кирпичной.

Показатели объемной массы необходимы, в частности, для подсчета пористости материала.

Пористость — это степень заполнения объема материала порами. Порами называют мелкие ячейки в материале, заполненные воздухом или водой. Размеры пор могут быть от миллионных до десятых долей миллиметра.

Для расчетного определения пористости

$$P = \frac{\rho - m_v}{\rho} 100,$$

где P — пористость материала, %; ρ — плотность; m_v — объемная масса.

Пористость материалов колеблется в широких пределах, например от 0,2—0,8 % (гранит, базальт) до 75—85 % (теплоизоляционный кирпич, пенобетон), а бывает выше 90—95 % (поропласты, стеклопор). Но существуют материалы с нулевой пористостью, т. е. абсолютно плотные (стекло, битум, сталь). Такие материалы отличаются водонепроницаемостью.

Пористость — важная характеристика материалов, так как от пористости зависят многие свойства: объемная масса, прочность, водопоглощение, теплопроводность, морозостойкость и др.

Для различных конструкций применяют материалы с разной пористостью. Например, для наружных стен отапливаемых зданий желательны материалы со значительной пористостью, так как они обладают относительно малой теплопроводностью и, следовательно, хорошими теплоизоляционными свойствами. Для некоторых частей гидротехнических сооружений, а также для изготовления бетонных или асбестоцементных водопроводных и канализационных труб, наоборот, требуются малопористые материалы, отличающиеся достаточной водонепроницаемостью.

Часто показатель общей величины пористости является недостаточным для суждения об отдельных свойствах данного материала. Для этого требуется еще знать размеры пор и дифференциро-

вать их по размерам, а также нужно установить, равномерно ли распределены поры в материале. Для определения пористой структуры материалов существуют различные методы: сорбционные, ртутной порометрии, микроскопические и др.

Свойства, определяющие отношение материалов к различным физическим процессам, сводятся в следующие группы: а) отношение к действию парообразной и капельно-жидкой воды (гигроскопичность, водопоглощение, водопроницаемость, коэффициент размягчения); б) отношение к влиянию температуры (температурное расширение, теплоемкость, теплопроводность, морозостойкость, огнестойкость, огнеупорность); в) прочие свойства (паро- и газопроницаемость, электропроводность и др.).

Многие из свойств удобно численно характеризовать, исходя из общего выражения, вывод которого приводится ниже.

Скорость любого физического процесса, происходящего в материале при воздействии водяных паров, воды, теплового потока, электрического тока, определяется соотношением между действием двух факторов: «движущей силы» процесса (например, разность температур при прохождении тепла) и сопротивления материала протеканию процесса. Следовательно, скорость физического процесса

$$V = (P_1 - P_2) : R,$$

где V — скорость; $(P_1 - P_2)$ — «движущая сила» процесса; R — сопротивление.

Здесь под «движущей силой» процесса $(P_1 - P_2)$ подразумевается, например, разность давлений водяного пара $(p_1 - p_2)$, когда имеется в виду процесс гигроскопического увлажнения; разность температур $(t_1 - t_2)$, когда идет речь о теплопроводности материала; разность потенциалов $(E_1 - E_2)$ — при прохождении электрического тока.

Сопротивление R зависит от длины l и поперечного сечения F образца материала, а также от величины соответствующего коэффициента β (например, теплопроводности, электропроводности, паропроницаемости), характерного для данного материала. Таким образом $R = (l : \beta) (l : F)$. Следовательно,

$$V = (P_1 - P_2) : \left(\frac{l}{\beta F} \right).$$

Скорость процесса $V = A : z$, где A — фактор емкости, например, количество тепла, водяного пара, воды, электричества, а z — время, в течение которого длится процесс. Таким образом, получаем уравнение

$$\frac{A}{z} = \frac{\beta (P_1 - P_2) F}{l} \quad \text{или} \quad A = \beta \frac{(P_1 - P_2) F z}{l}. \quad (I.1)$$

Уравнение носит достаточно общий характер. Нетрудно убедиться в его внешнем сходстве с уравнением диффузии Фика, с выражением закона Ома. Пользуясь данным уравнением, можно

решать некоторые практические задачи и объяснять отдельные известные факты в строительном материаловедении. Например, почему тонкомолотый цемент значительно быстрее грубомолотого поглощает влагу, а также двуокись углерода из воздуха и портится. Потому что с увеличением F и с уменьшением значения l возрастает A , т. е. количество поглощенной влаги и двуокиси углерода.

Из уравнения (I.1) находим

$$\beta = \frac{Al}{(P_1 - P_2) Fz}.$$

Пользуясь этим выражением, можно определить размерность соответствующего коэффициента — гигроскопического увлажнения, водопоглощения, водопроницаемости (фльтрации), теплопроводности.

Так, если вместо A подставим Q (количество тепла, ккал), вместо $(P_1 - P_2)$ подставим $(t_1 - t_2)$ (разность температур, град), l выразим в м, F — в м², z — в ч, то размерность коэффициента теплопроводности будет следующая: ккал/(м·ч·°С) (Вт/м·К).

Следует отметить, что здесь и ниже в данном параграфе наряду с единицами физических величин СИ приводятся и некоторые прежде принятые размерности, укоренившиеся в нормативной, справочной и патентной литературе по строительным материалам. Это делается для того, чтобы облегчить студентам пользование соответствующими пособиями наряду с учебником.

Материалы в строительных конструкциях (а также в процессе перевозки и хранения) обычно подвергаются действию воды в виде пара или жидкости.

Гигроскопичность — это физический процесс поглощения (сорбции) материалом водяных паров из воздуха. При этом происходит капиллярная конденсация, т. е. сжижение пара в жидкость в капиллярах (узких порах). Если сорбция водяного пара сопровождается химическим взаимодействием с материалом, то такой процесс называют хемосорбцией. Иногда хемосорбция влаги вредна; так, при длительном хранении цемента он портится, теряя активность, а иногда даже превращаясь в комья.

Водопоглощение. При непосредственном соприкосновении материалов с водой они способны впитывать и удерживать в себе некоторое количество воды. Это свойство называется водопоглощением. Водопоглощение выражают или степенью заполнения объема материала водой (водопоглощение по объему B_v) или отношением количества поглощенной воды к массе сухого материала (водопоглощение по массе B_m).

Обычно водопоглощение по объему меньше пористости данного материала, так как вода не проникает в очень мелкие поры, хотя величина молекулы воды может быть во много раз меньше размера «входного отверстия» пор и капилляров. Этот на первый взгляд странный факт объясняется следующим.

Молекулы воды, находящейся в жидком состоянии в отличие от молекул других веществ соединяются между собой при помощи

так называемых дипольных и водородных связей и образуют полимерные ассоциаты. Иначе говоря, молекулы воды движутся крупными комплексами, которые не могут проникнуть в мелкие поры. Сравнение с группой людей, взявшихся под руки и стремящихся так пройти в узкую дверь, вероятно, поможет пояснить описанное явление. Однако под очень сильным давлением или при переходе в парообразное состояние ассоциаты молекул воды разрушаются, и она может проникнуть и в очень узкие отверстия.

Частным видом водопоглощения является капиллярное всасывание или капиллярная диффузия.

Водопроницаемость — способность материала пропускать воду под давлением.

Абсолютно плотные материалы, т. е. такие, у которых значения объемной массы и плотности совпадают, например стекло, битум, сталь, водонепроницаемы. Достаточно плотные материалы, отличающиеся мелкой пористостью, в толстых слоях практически тоже водонепроницаемы вследствие крайне медленной диффузии воды (например, бетон при специально подобранном его составе).

Коэффициент размягчения ($k_{\text{разм}}$) — это отношение прочности материала, насыщенного водой, к прочности материала в сухом состоянии: $k_{\text{разм}} = R_{\text{нас}}/R_{\text{сух}}$.

Принято считать, что природные и искусственные каменные материалы, применяемые в подводных конструкциях или в конструкциях, находящихся в сырых местах, должны иметь коэффициент размягчения не ниже 0,8.

Температурное расширение — это способность материала расширяться вследствие нагревания. Температурное расширение характеризуется коэффициентом линейного расширения, показывающим, на какую долю первоначальной длины расширился материал при повышении температуры на один градус Цельсия. Коэффициент линейного расширения часто выражают в м/град. Так, для бетона этот коэффициент составляет $(10 \div 14) 10^{-6}$; для древесины вдоль волокон — $(3 \div 5) 10^{-6}$; для стали (для сравнения) — $(11,0 \div 11,9) 10^{-6}$.

Теплоемкость — способность материала поглощать при нагревании определенное количество тепла; теплоемкость характеризуют удельной теплоемкостью в джоулях на килограмм-кельвин — Дж/(кг·К) [иногда — ккал/(кг·°С)].

Удельная теплоемкость природных и искусственных каменных материалов обычно находится в пределах 0,76—0,92 Дж/(кг·К) [0,18—0,22 ккал/(кг·°С)]. Органические материалы имеют большие значения удельной теплоемкости, например древесина в среднем 2,7 Дж/(кг·К) [0,65 ккал/(кг·°С)], поэтому деревянные конструкции способны аккумулировать в три раза больше тепла, чем каменные, и могут постепенно отдавать это тепло, например, внутри помещений.

Теплопроводность — это способность материала передавать тепло через толщу от одной своей поверхности к другой.

Теплопроводность выражается в Вт/(м·К), часто встречается в справочной и нормативной литературе ккал/(м·ч·°С).

В пористых материалах тепловой поток проходит через твердый остов и воздушные ячейки. Из всех природных и искусственных веществ наименьшей теплопроводностью обладает воздух. Особенно мала теплопроводность «неподвижных» пузырьков воздуха, заключенных в мелких порах [$\lambda = 0,02$ ккал/(м·ч·°С)]. Воздух в «массе», когда действуют конвекционные токи, имеет несколько большую теплопроводность. На значения теплопроводности особенно влияет влажность материала, так как теплопроводность воды, заполняющей поры, в 25 раз больше, чем воздуха. В табл. I.1 приведены в качестве примера данные о ячеистых бетонах, показывающие зависимость теплопроводности от их объемной массы и влажности.

Для сравнения приведем еще следующие данные. Теплопроводность легкого бетона, изготовленного с применением пористых заполнителей, при объемной массе 1200—1600 кг/м³ составляет 0,46—0,7 Вт/(м·К), а обыкновенного (тяжелого) бетона объемной массой 2300—2400 кг/м³ — 1,28—1,51 Вт/(м·К), что во много раз больше, чем у ячеистых бетонов (табл. I.1).

Морозостойкость — это способность насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание. Основная причина разрушения влажного материала при замораживании заключается в давлении на стенки пор, оказываемом замерзающей водой.

Плотность воды при 0 °С составляет 0,9999, а льда при той же температуре — 0,9168, следовательно, при заморзании вода увеличивается в объеме почти на 9 %. Считают, что лед образован преимущественно молекулами тригидроля (H₂O)₃. Эти молекулы в массе отличаются более «рыхлой упаковкой», чем молекулы капельно-жидкой воды, поэтому и возникает увеличение ее объема при заморзании.

Замерзающая в материале вода, расширяясь, оказывает давление на стенки пор, достигающее при некоторых условиях нескольких десятков или сотен МПа (нескольких сотен или тысяч кгс/см²). При этом в замкнутом пространстве твердое тело испытывает большие механические напряжения, которые могут привести к его разрушению. Так, уже при однократном замораживании воды в стальных трубах они разрываются.

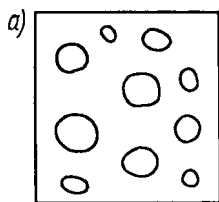
По-иному происходит заморзание воды в бетоне, кирпиче и других материалах, представляющих собой капиллярно-пористые тела. Уже указывалось, что комплексы (ассоциаты) молекул воды

Таблица I.1

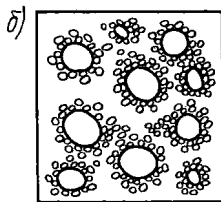
Объемная масса, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·К), материала	
	сухого	с влажностью 8 %
300	0,08—0,09	0,15
500	0,13—0,14	0,20
700	0,15—0,17	0,24
900	0,20—0,23	0,29
1100	0,27—0,30	0,39

не проникают в мелкие поры материала при обычном водопоглощении. Но, замерзая в сравнительно крупных порах, вода под давлением образующегося льда проникает в мелкие поры. Это «гидравлическое отжатие» служит источником энергии для разрыва цепей ассоциированных молекул воды, т. е. ее ассоциаты разрушаются.

В мелких же порах и тонких капиллярах благодаря силам молекулярного притяжения к межпоровым перегородкам и стенкам капилляров вода находится в особом состоянии (§ 1.4). Здесь она не замерзает даже при температурах, которые намного ниже 0°C , и поэтому не оказывает разрушающего давления на стенки пор. Таким образом, мелкие поры служат как бы резервными емкостями, куда часть воды отжимается при замораживании материала, не вызывая вредного механического воздействия на его скелет (рис. 1.1).



Плохо!



Хорошо!

Рис. 1.1. Влияние качества пористости на морозостойкость материала (схема):

а — только крупные поры, в которых вода замерзает; б — имеются мелкие поры, куда отжимается замерзающая вода

Но, конечно, при многократном попеременном замораживании и оттаивании строение материала нарушается, он разрушается, теряет прочность, а иногда даже распадается на отдельные куски. От морозостойкости в большой мере зависит долговечность материалов в сооружениях, поэтому, изготовляя искусственные каменные материалы, технологи стремятся управлять их капиллярно-пористой структурой. Для этого, в частности, служат добавки поверхностно-активных веществ, описываемые в гл. IX.

Для испытания материалов на морозостойкость обычно применяют метод попеременного замораживания и оттаивания образцов. Этот метод, предложенный еще в прошлом столетии крупным русским ученым Н. А. Белелюбским, был принят в 1886 г. на Международной конференции по испытанию материалов и до сего времени применяется во всех странах. Разумеется, что за прошедшие десятилетия аппаратура, используемая для определения морозостойкости, подверглась коренному усовершенствованию. Существует также расчетно-экспериментальный метод прогнозирования морозостойкости бетонов, созданный Г. И. Горчаковым. Для ускоренной оценки морозостойкости материалов применяется акустический метод, разработанный А. П. Меркиным и М. Батдаловым.

Его сущность основана на том, что образование любой трещины сопровождается звуковым эффектом. Это было давно замечено в практике, отсюда и общий корень в словах «трещина» и «треск». При замораживании место разрушения материала, т. е. локальный его участок, становится источником затухающих механических