

**БЕЛОВ В.В.
ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ В.Б.
ХРАМЦОВ Н.В.**

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

БАКАЛАВР



В.В. Белов В.Б. Петропавловская Н.В. Храмцов

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Под общей редакцией доктора технических наук профессора
В.В. Белова*

*Рекомендовано Федеральным государственным бюджетным
учреждением высшего профессионального образования
«Московский государственный строительный университет» в
качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по программе бакалавриата по направлению
270800 – «Строительство»*



Издательство АСВ
Москва
2014

УДК 691: 519.6.502 (075)

Рецензенты:

кафедра «Строительство, строительные материалы и конструкции»
ТулГУ – зав. кафедрой советник РААСН, д.т.н., проф. *А.А. Трещев*;

зав. кафедрой прикладной физики ТвГТУ доктор физико-
математических наук, профессор *А.В. Твардовский*;

зав. кафедрой «Технологии вяжущих веществ и бетонов» МГСУ
профессор, доктор технических наук,
академик РААСН *Ю.М. Баженов*

Белов В.В., Петропавловская В.Б., Храмцов Н.В.

Строительные материалы: Учебник для бакалавров. –М.: Изда-
тельство АСВ, 2014. – 272 с.

ISBN 978-5-93093-965-1

В учебнике для бакалавров рассматриваются важнейшие группы строительных материалов универсального и специального назначения и основы их технологии. Особое внимание уделено общим закономерностям связи структуры и свойств строительных материалов и изделий в рамках развиваемого в настоящее время научного строительного материаловедения (НСМ), а также целенаправленному созданию строительных материалов, изделий и конструкций с заданными структурой и свойствами в результате использования оптимальных технологических процессов. Рассматриваются перспективы развития строительных материалов с точки зрения использования техногенных отходов или вторичных ресурсов, а также местного сырья при их получении, снижения энергоемкости и повышения качества. В технологическом разделе дается понятие о таких перспективных направлениях в технологии строительных материалов, как строительные нанотехнологии и биотехнологии.

Учебник предназначен для студентов строительных специальностей, преподавателей, специалистов строительного профиля.

Регистрационный номер рецензии 2563 от 11.10.2013

ISBN 978-5-93093-965-1

© Издательство АСВ, 2014

© Белов В.В., Петропавловская В.Б.,
Храмцов Н.В., 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник составлен в соответствии с основными образовательными программами подготовки бакалавров направления «Строительство» различных профилей по дисциплине «Строительные материалы». Данный курс является базовым для изучения многих специальных дисциплин, а также его овладение служит залогом успешной профессиональной подготовки специалистов строительного профиля. В то же время решение указанной проблемы встречает определенные трудности в связи с большим объемом сведений по данной дисциплине и обширностью соответствующих учебников, их недостаточным количеством; особенно вследствие многочисленных изменений в нормативных документах, появления новых научно-технических разработок в области строительных материалов и изделий.

Целью настоящего учебника является сжатое систематизированное представление основных сведений преимущественно материаловедческого и, частично, технологического плана на современном научном и в то же время доступном для студентов уровне. В связи с возрастающим значением транспортного строительства значительное внимание в книге уделено такому важнейшему дорожно-строительному материалу, как асфальтобетон, а также битумным вяжущим. Рассматриваются перспективы развития строительных материалов с точки зрения использования техногенных отходов или вторичных ресурсов, а также местного сырья при их получении, снижения энергоемкости и повышения качества продукции.

Данные о технологических процессах приведены в минимально необходимом объеме. В то же время в технологическом разделе дается понятие о таких перспективных направлениях в технологии строительных материалов, как строительные нанотехнологии и биотехнологии. Достижение сжатости представляемого материала потребовало отказа от использования большого объема иллюстративного материала. Поэтому данный учебник является не альтернативой существующим учебникам по курсам: «Строительные материалы» и «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», а их, по глубокому убеждению авторов, полезным и необходимым дополнением.

Главы 2 (за исключением пп. 2.2), 3, 5 (за исключением пп. 5.2), 7, 9, 11 (за исключением пп. 11.1), 12–14, 15 (за исключением пп.

15.3), 16 (за исключением пп. 16.2) написаны В.В. Беловым; главы 4, 8, пп. 5.2, 11.1, 15.3 – В.Б. Петропавловской; введение, главы 1, 6, пп. 2.2 – совместно В.В. Беловым и В.Б. Петропавловской; главы 10, пп. 16.2 – совместно В.В. Беловым и Н.В. Храмцовым.

Авторы выражают искреннюю признательность зав. кафедрой «Строительство, строительные материалы и конструкции» Тульского государственного университета, советнику РААСН, доктору технических наук профессору А.А. Трещеву; зав. кафедрой прикладной физики Тверского государственного технического университета доктору физико-математических наук профессору А.В. Твардовскому за полезные замечания по содержанию пособия.

Особую благодарность авторы выражают зав. кафедрой «Технологии вяжущих веществ и бетонов» Московского государственного строительного университета, доктору технических наук, профессору, академику РААСН Ю.М. Баженову за ценные замечания и добрые пожелания при подготовке учебника к печати.

ВВЕДЕНИЕ

Общие сведения. Строительное материаловедение является наукой о строительных материалах и изделиях. Без достаточных знаний о многочисленных разновидностях строительных материалов, способах их производства и качественных показателях, методах их правильного хранения и использования невозможно проектировать и строить здания и сооружения, реконструировать или ремонтировать их, выполнять научно-технические разработки в области строительства.

Строительные материалы – это основа строительства. В общих сметах строительных объектов на стоимость материалов обычно приходится 50–65 %, поэтому экономия при строительстве объекта во многом зависит от эффективности применения строительных материалов и изделий и правильного их выбора. Использование строительных материалов должно базироваться на прочных знаниях о производстве, показателях качества, методах проверки основных свойств материалов в лабораторных и производственных условиях, их эффективных областях применения. Успехи практики производства и применения строительных материалов во многом зависят от того, в какой мере она учитывает научные положения взаимосвязи состава и структуры (строения) материалов с их свойствами, а также насколько уровень технологии и качественных показателей соответствует мировым достижениям в данной отрасли.

Наука и производство строительных материалов имеют глубочайшую историю развития. Возникновение науки и каждый этап ее развития всегда были обусловлены производством. В свою очередь, развитие производства являлось следствием возрастающих потребностей в материалах для строительства у общества.

Классификация строительных материалов. Исходя из условий работы материалов в сооружении, их можно разделить на две группы:

1. *Конструкционные материалы универсального типа:* а) природные каменные материалы; б) искусственные каменные материалы обжиговые (керамика, стекло, ситаллы) и безобжиговые на основе вяжущих веществ (бетон, железобетон, строительные растворы); в) металлы (сталь, чугун, алюминий, сплавы); г) полимеры; д) древесные материалы.

2. *Строительные материалы специального назначения,* необходимые для защиты конструкций от вредных воздействий среды, а также для повышения эксплуатационных свойств и создания комфорта: а) теплоизоляционные; б) акустические; в) гидроизоляционные; г) отделочные; д) антикоррозийные и др.

Требования к строительным материалам и их жизненный цикл. Все виды материалов, изделий и конструкций, которые применяются в строительстве, должны отвечать определенным требованиям, прежде всего с точки зрения их функционального назначения и соответствующих показателей свойств. Материалы должны воспринимать как силовые нагрузки, так и комплекс других воздействий, определяющихся условиями эксплуатации и окружающей среды. При этом они должны иметь определенный запас прочности и быть способными длительное время сопротивляться физическим, химическим и биологическим воздействиям в разных условиях. Поэтому в домах и сооружениях должны быть заложены материалы с такими свойствами, которые бы обеспечили им не только прочность, но и необходимую жесткость, стойкость и долговечность, чтобы они в полной мере удовлетворяли санитарно-гигиеническим, архитектурным, противопожарным, экономическим и экологическим требованиям.

Методические подходы к определению долговечности, надежности и оптимального срока службы строительных композиционных материалов, а также к их экологической оценке могут быть различными, но при этом обязательно анализируются этапы жизненного цикла материала и связанные с ними технико-экономические показатели и нагрузки на окружающую среду. Наиболее типичные этапы жизненного цикла строительных материалов, не считая инновационного этапа, т.е. разработки продукции и ее постановки на производство, включают: а) изготовление материалов и изделий; б) этап строительства (применение материала); в) эксплуатацию («жизнь» материала в объекте, необходимость ухода за ним для поддержания его качества, совместимость с материалами, которые используются для продления этапа эксплуатации – ремонта, реставрации, реконструкции); г) утилизацию или повторное использование материала в том или ином виде после соответствующих технологических операций, т.е. его *рециклинг* (при замене материала, сносе здания, сооружения).

При экологической оценке жизненного цикла учитывается влияние не только самого материала, но и процессов, сопровождающих его по жизненному циклу – от добычи сырья для изготовления материала до утилизации, захоронения или, что более предпочтительно, повторного использования для изготовления новых материалов. Это позволяет «замкнуть» жизненный цикл материала и решить экологические задачи – сократить количество отходов и обеспечить ресурсосбережение. При этом оцениваются не только прямые (явные) негативные воздействия, такие как эмиссия вредных веществ, образование отходов и т.п., но и косвенные эффекты (дефицит сырья, влияние на здоровье человека, ухудшение качества окружающей среды, нагрузки при перевозке материалов и т.д.).

Качество материалов оценивают количественно, т.е. числовыми показателями, которые определяют путем лабораторных, полевых, производственных испытаний. Испытания выполняют по специальным методикам, предусмотренным соответствующими нормативными документами.

Техническое регулирование и стандартизация строительных материалов и изделий. В соответствии с Федеральным законом РФ «О техническом регулировании», вступившим в действие с 1 июля 2003 года, правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции, а также регулирование отношений в области оценки соответствия обеспечивается *техническим регулированием*. Основным нормативным документом в области технического регулирования, имеющим силу закона, является технический регламент.

Технический регламент – нормативный документ, устанавливающий обязательные для применения и исполнения требования к продукции, процессам производства, эксплуатации и другим объектам технического регулирования и принимаемый в целях безопасности граждан, имущества, окружающей среды, животных и растений.

Стандартизация – это установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон при соблюдении условий эксплуатации и требований безопасности. Результатом работы по стандартизации является принятие стандарта.

Стандарт – это нормативный документ, в котором устанавливают характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ или оказания услуг, а также требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке.

Стандарт организации – документ, который разрабатывается и утверждается самой организацией в соответствии с действующим в ней порядком.

Общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации – документы в области стандартизации, распределяющие технико-экономическую и социальную информацию в соответствии с ее классификационными признаками на классификационные группировки.

Свод правил – документы в области стандартизации, в которых содержатся технические правила и (или) описание процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции.

Национальную систему стандартизации составляют:

- *национальные стандарты*, к которым в России относят государственные стандарты (ГОСТ Р) и межгосударственные стандарты стран СНГ (ГОСТ), введенные в действие до 1 июля 2003 г.;
- *правила стандартизации, нормы и рекомендации* в области стандартизации;
- *стандарты организаций*;
- *общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации*;
- *своды правил*.

При разработке национальных стандартов как основу используют международные стандарты ИСО (Международной организации по стандартизации), МЭК (Международной электротехнической комиссии) и др., за исключением случаев, когда такое применение признано по тем или иным причинам невозможным.

Большинство стандартов на строительные изделия и материалы – это стандарты технических требований и стандарты на методы испытаний. Стандарты технических требований нормируют показатели качества, надежности и долговечности продукции, ее внешний вид.

Кроме стандартов в строительстве действует система нормативных документов, объединяемые в «**Строительные нормы и правила**» (СНиП) и «**Свод правил**» (СП), которые представляют собой свод норм и правил по проектированию, строительству и производству строительных материалов, изделий и конструкций, а также зданий и сооружений.

В целях повышения качества продукции, конкурентоспособности продукции, работ и услуг на российском и международном рынках осуществляется *удостоверение соответствия* продукции, процессов производства и иных объектов технического регулирования техническим регламентам, стандартам и условиям договора.

Добровольное подтверждение соответствия осуществляется в форме **добровольной сертификации** – установления соответствия национальным стандартам, стандартам организаций и условиям договора.

Обязательное подтверждение соответствия осуществляется в формах **декларирования о соответствии** и **обязательной сертификации** – установления соответствия техническим регламентам.

При проектировании, изготовлении строительных изделий и конструкций, возведении сооружений пользуются **единой модульной координацией размеров в строительстве (МКРС)** на базе основного модуля, равного 100 мм (1М). На практике используют как укрупненные модули (60М, 30М и др.) – при проектировании зданий, так и дробные (1/2М, 1/5М, 1/10М и др.) – при изготовлении строительных элементов.

1. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

1.1. Состав строительных материалов

Строительные материалы характеризуются химическим, минеральным и фазовым составами.

Химический состав строительных материалов определяет деление их на органические материалы (древесные, битум, пластмассы и т.п.), минеральные материалы (бетон, цемент, кирпич, природный камень и т.п.) и металлы (сталь, чугун, алюминий). Химический состав позволяет судить о других технических характеристиках (биостойкость, прочность и т.п.). Химический состав некоторых материалов (неорганические вяжущие, каменные материалы) часто выражают количеством содержащихся в них оксидов. Оксиды, химически связанные между собой, образуют минералы, которые определяют минеральный состав материала.

Минеральный состав показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся в материале. Этот состав непосредственно определяет свойства материала. Например, большее содержание в портландцементе такого минерала, как алит, ускоряет твердение, повышает прочность цементного камня.

Фазовый состав (по агрегатному состоянию) пористого материала характеризует количество твердого вещества (твердой фазы), образующего стенки пор («каркас» материала), и пор, заполненных воздухом (газовой фазой) и (или) водой (жидкой фазой). Соотношение между указанными фазами определяет баланс внутренних сил взаимодействия структурных элементов и во многом свойства материала.

1.2. Структура строительных материалов

Под *структурой, или строением*, материалов как физических тел понимают пространственное расположение частиц разной степени дисперсности и других структурных элементов с совокупностью устойчивых взаимных связей и порядком сцепления их между собой. Кроме того, в понятие структуры входит расположение пор, капилляров, поверхностей раздела фаз, микротрещин и других элементов. В зависимости от уровня изучения структуры выделяют макро- и микроструктуру, а также внутреннее строение вещества, составляющее материал на молекулярном уровне.

Макроструктура материала – строение, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении. Различают следующие *типы макроструктуры*.

Плотную однородную структуру имеют металлы, стекло и т.п.

Конгломератное строение характерно для большинства природных и искусственных каменных материалов (различных видов бетона, растворов, силикатного кирпича, некоторых видов керамических материалов), когда отдельные зерна заполнителя прочно соединены между собой прослойками вяжущего вещества. При этом в зависимости от относительного содержания этих основных элементов твердой фазы материала различают порфировый, контактный и законтрактный типы структур. *Порфировой* принято называть структуру, в которой зерна заполнителя разделены толстыми прослойками вяжущего и для них характерно «плавающее» расположение в материале. Если зерна или частицы контактируют через тонкие прослойки вяжущего при сохранении ее непрерывности и сплошности, то такую структуру называют *контактной*. При непосредственном контакте дискретных элементов, когда вяжущего вещества недостаточно для сохранения своей непрерывности и сплошности, говорят о *законтрактной* структуре.

Большинство строительных материалов имеют в своей структуре *поры*. От их характера и размера во многом зависят свойства материала.

Мелкопористая структура характерна для пеностекла, а также некоторых бетонов с поризованным цементным камнем.

Ячеистая структура характеризуется наличием макропор в материале, свойственна газо- и пенобетонам, ячеистым пластмассам.

Волокнистую и *слоистую* структуры имеют материалы, у которых волокна (слои) расположены параллельно одно другому. Такая структура присуща древесине, изделиям из минеральной ваты.

Рыхлозернистую структуру образуют отдельные, не связанные одно с другим зерна (песок, гравий, порошкообразные материалы).

Микроструктура материала – строение, видимое в оптический микроскоп. На *микроуровне* твердая фаза материала может быть *кристаллической* и *аморфной*. Неодинаковое строение кристаллических и аморфных веществ определяет и различие в их свойствах. Аморфные обладают нерастроченной внутренней энергией кристаллизации, химически более активны, чем кристаллические того же состава (аморфные формы кремнезема – пемза, туфы, трепелы, диатомиты). Теплопроводность аморфных материалов ниже, чем кристаллических. Неодинаковые свойства могут наблюдаться у кристаллических материалов одного и того же состава, если они формируются в разных кристаллических формах, называемых модификациями. Изменением свойств материала путем преобразования

кристаллической решетки пользуются при термической обработке металлов.

Внутреннее строение веществ изучают методами рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии и т.д. Под *внутренним строением вещества* подразумеваются расположение, взаимоотношение и взаимосвязь различных по размеру атомов, ионов и молекул, из совокупности которых слагаются различные вещества в твердом, жидком и газообразном состояниях. Атомно-молекулярное строение определяет микроскопические особенности материала.

Структура материала не остается неизменной, «застывшей». В пространстве и во времени она непрерывно претерпевает изменения. Этому, в частности, способствуют постоянное движение элементарных частиц, атомов, молекул, взаимодействие материала с окружающей средой. Почти все строительные материалы и их сырьевые смеси, по крайней мере на микроуровне, представляют собой дисперсные системы, т.е. микрогетерогенные системы, состоящие из двух или более фаз. Интервал размеров частиц дисперсной фазы обычно составляет от нескольких нанометров до ~100 мкм. Характер структуры материала как дисперсной системы во многом определяется характером и величиной связей или сил сцепления между структурными элементами. В зависимости от характера этих связей в дисперсных системах выделяют прочные фазовые контакты в *конденсационных* (сращивание за счет химических взаимодействий аморфных частиц) или *кристаллизационных* (сращивание за счет химических взаимодействий частиц в виде кристаллов) структурах дисперсных материалов, непосредственные атомные контакты в *сухих порошках* и сравнительно слабые силы молекулярного взаимодействия (ван-дер-ваальсовы), действующие между частицами через прослойки жидкой фазы, в *коагуляционных* структурах. Особенность структур второго и третьего видов – полная их обратимость по прочности. Конденсационные и особенно кристаллизационные структуры придают веществу повышенную прочность, хрупкость. Во многих случаях возможно сосуществование всех указанных видов структур. Например, при затворении цемента водой атомные (непосредственные) контакты переходят в коагуляционные, затем в фазовые. Этому переходу соответствует непрерывное изменение вязкости, модуля упругости и, главное, прочности дисперсных структур.

Помимо рассмотренных выше видов взаимодействий и соответствующих структур необходимо выделить такие важные взаимодействия, как *капиллярные*, проявляющиеся в трехфазных (твердое – жидкость – газ) дисперсных системах, к которым относится подав-

ляющее большинство сырьевых (бетонных, растворных, силикатных и т.п.) смесей для изготовления строительных материалов. На рис. 1 показано искривление жидкости в зазоре между двумя частицами шарообразной формы, а также между шарообразной частицей и плоскостью, приводящее к их стягиванию в результате растяжения жидкости и появления в ней отрицательного капиллярного давления (основная составляющая силы капиллярного сцепления). Подобно тому, как образуются конденсационные или коагуляционные структуры, под действием сил капиллярного сцепления возникают *капиллярные структуры* в сырьевых смесях, которые затем накладывают свой отпечаток на строение и свойства материалов, полученных из этих смесей.

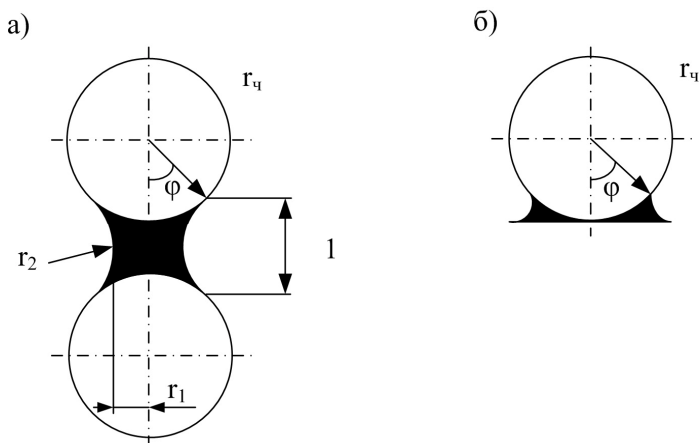


Рис. 1. Силы капиллярного сцепления:
а – между двумя шарообразными частицами;
б – между шарообразной частицей и плоскостью

В полидисперсных трехфазных сырьевых смесях в производстве строительных материалов в результате преимущественного налипания тонкодисперсных частиц вяжущего на грубодисперсные частицы заполнителя за счет сил капиллярного сцепления частицы вяжущего концентрируются у поверхности заполнителей и в контактных зонах между ними. В этом – одна из причин увеличения прочности и плотности контактных зон.

Капиллярное сцепление проявляется также в капиллярно-пористых телах, структурные элементы которых в основном соединены другими связями некапиллярного характера. В этих телах силы капиллярного сцепления создают внутренние напряжения, вызывающие усадочные деформации, а также влияют на прочность материала.

Если для дисперсных систем и материалов определяющими являются контактные взаимодействия, характер и величина которых обуславливают соответствующий тип структуры (эффект поверхностей), то для грубозернистых заполнителей наибольшее значение имеют закономерности укладки в зависимости от размеров и формы зерен (эффект масс). Заполнители подбирают из условия обеспечения наименьшего объема межзерновых пустот, что позволяет экономить на расходе вяжущего вещества. С этой целью заполнители предварительно разделяют на фракции по размерам с тем, чтобы затем пробным подбором или расчетом найти содержание каждой фракции для получения их плотной смеси.

Строение материала зависит: для природных материалов – от их происхождения и условий образования, для искусственных – от технологии производства и обработки материала. В свою очередь, свойства материалов связаны с особенностями их строения и свойствами тех веществ, из которых данный материал построен.

1.3. Основные свойства материалов

Чтобы правильно выбрать материал, спроектировать и построить сооружение, надо хорошо знать свойства применяемых материалов. Выделяют основные свойства, важные для всех строительных материалов.

Классификация основных свойств. В зависимости от характера работы материала в конструкциях и его взаимодействия с окружающей средой различают: а) физические свойства (удельные и структурные характеристики, гидрофизические, теплофизические, акустические, электрические); б) механические свойства (деформативные и прочностные); в) химические свойства; г) биологические свойства; д) интегральные свойства – долговечность и надежность. Свойства материала всегда оценивают числовыми показателями, которые устанавливают путем испытаний.

1.3.1. Физические свойства материалов

Удельные и структурные характеристики – это истинная, средняя и насыпная плотность материала, а также различные виды пористости.

Истинная плотность ρ (г/см³) – масса m единицы объема V_a материала в абсолютно плотном состоянии без пор и пустот:

$$\rho = \frac{m}{V_a}.$$

Средняя плотность ρ_0 (кг/м³) – масса m единицы объема V_0 материала в естественном состоянии вместе с порами и пустотами:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}.$$

Истинная плотность в отличие от средней плотности является достаточно постоянной характеристикой, которая не может быть изменена, как средняя плотность материала, до изменения его химического состава или молекулярной структуры. Большинство строительных материалов имеют поры, поэтому у них истинная плотность всегда больше средней. Лишь у плотных материалов (стали, стекла, битума) истинная и средняя плотности равны, так как объемы пор очень малы.

Часто среднюю плотность материала относят к плотности воды, при 4 °С равной 1000 кг/м³, и тогда определяемая плотность становится безразмерной величиной, которую называют относительной плотностью.

Насыпная плотность ρ_n (кг/м³) – отношение массы материала в насыпном состоянии к его объему. Насыпную плотность определяют для сыпучих материалов (песка, щебня, цемента и т.п.). В ее значении отражается влияние не только пор в каждом зерне, но и межзерновых пустот в рыхлонасыпанном объеме материала.

Значения средней и насыпной плотности материалов являются необходимыми характеристиками при расчете прочности сооружения с учетом собственной массы, для определения объемов, способа и стоимости перевозки материалов и т.д.

Во многом свойства материала определяют количество, размер и характер пор. *Пористость* – относительная величина (обычно в процентах), показывающая, какая часть объема материала занята внутренними порами или пустотами (пустотность). Поры представляют собой ячейки, не заполненные твердым веществом (по величине до нескольких миллиметров). Более крупные поры, например между зернами сыпучих материалов, или полости, имеющиеся в некоторых изделиях (пустотелый кирпич, панели из железобетона), называют пустотами.

Различают общую, открытую и закрытую пористость. *Общая пористость* вычисляется по формуле

$$П = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \cdot 100.$$

Открытая пористость P_o определяется по водопоглощению (см. ниже). *Закрытая пористость* P_z , равна разности P и P_o .

Общая пористость колеблется в широких пределах: от 0,2–0,8 % – у гранита и мрамора, до 75–85 % – у теплоизоляционного кирпича и ячеистого бетона и свыше 90 % – у пенопластов и минеральной ваты.

Гидрофизические свойства – это свойства строительных материалов по отношению к действию воды (гигроскопичность, влажность, водопоглощение, влажностные деформации, водопроницаемость, водостойкость, а также морозостойкость – при одновременном действии воды и мороза).

Гигроскопичностью называют свойство пористого материала поглощать водяной пар из воздуха.

Влажность характеризует относительное содержание воды в материале в процентах.

Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать воду при непосредственном контакте с ней. Величина водопоглощения зависит от структуры материала и, прежде всего от открытой (капиллярной) пористости. Различают водопоглощение по массе B_m (%):

$$B_m = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100$$

и водопоглощение по объему B_o (%):

$$B_o = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{V_o \cdot \rho_v} \cdot 100,$$

где $m_{\text{нас}}$ – масса образца, насыщенного водой, г; $m_{\text{сух}}$ – масса сухого образца, г; V_o – объем образца, см^3 ; ρ_v – плотность воды, 1 г/см^3 .

Водопоглощение по массе изменяется в широких пределах, например, для гранита оно равно 0,02–0,7 %, тяжелого бетона – 2–4 %, кирпича – 8–15 %, для теплоизоляционного материала может быть более 100 %. Водопоглощение по объему характеризует в основном открытую пористость материала. Зная водопоглощение по массе B_m и плотность ρ_o , можно рассчитать водопоглощение по объему:

$$B_o = \frac{B_m \cdot \rho_o}{\rho_v}.$$

Влажностные деформации – это усадка и набухание. *Усадка* (усушка) – уменьшение объема и размеров материала при его высы-

хании. Оно вызывается уменьшением толщины слоев воды, окружающих частицы материала, и действием капиллярных сил, стремящихся их сблизить. *Набухание* (разбухание) – увеличение объема и размеров материала при его увлажнении. Оно происходит вследствие расклинивающего действия воды и уменьшения капиллярных сил.

Водопроницаемость – способность материала пропускать воду через свою толщу. Характеризуется величиной коэффициента фильтрации K_f ($\text{м}^2/\text{ч}$), который определяется количеством воды, прошедшим через 1 м^2 площади в течение 1 ч при постоянном давлении.

Водонепроницаемость – способность материала не пропускать воду, и она связана с коэффициентом фильтрации обратной зависимостью. Для бетона водонепроницаемость характеризуется марками W2, W4, ... W20, обозначающими избыточное давление (0,2; 0,4; ... 2,0 МПа), при котором образец не пропускает воду при стандартном испытании (метод «мокрого пятна»). Водонепроницаемость повышается при уплотнении материала и уменьшении капиллярных пор.

Водостойкость характеризуется коэффициентом размягчения K_p , который вычисляется по формуле

$$K_p = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}},$$

где $R_{\text{нас}}$ – предел прочности на сжатие в насыщенном водой состоянии, МПа; $R_{\text{сух}}$ – предел прочности на сжатие в сухом состоянии, МПа.

К неводостойким материалам относят материалы с K_p менее 0,6, к ограниченно водостойким – материалы с K_p не ниже 0,6, а к водостойким – материалы с K_p не ниже 0,7 (0,8 – для гидротехнических сооружений и фундаментов).

Морозостойкость – способность материала выдерживать многократное и попеременное замораживание и оттаивание в насыщенном водой состоянии. Разрушение материала при его замораживании в насыщенном водой состоянии связано с образованием в порах льда, объем которого примерно на 9 % больше объема воды. Морозостойкость количественно оценивается маркой по морозостойкости. За марку по морозостойкости принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы материала без видимых признаков разрушения и определенного снижения прочности и потери массы. Установлены марки по морозостойкости: тяжелого бетона – F25–F1000, керамического и силикатного кирпича – F15– F50 и т.д.

Теплофизические свойства характеризуют отношение материала к действию тепла.

Теплопроводность – способность материала передавать тепло от тела с большей температурой к менее теплому. Характеризуется коэффициентом теплопроводности λ (Вт/(м·°C)), который равен

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{A \cdot (t_1 - t_2) \cdot T},$$

где Q – количество тепла, Дж; δ – толщина материала, м; A – площадь сечения, м²; $(t_1 - t_2)$ – разность температур, °C; T – продолжительность прохождения тепла, с.

Теплопроводность зависит от структуры материала, его влажности и температуры. Существует эмпирическая формула Некрасова для определения теплопроводности материала по его средней плотности

$$\lambda = 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot d^2} - 0,16,$$

где d – относительная плотность материала (плотность материала по отношению к плотности воды), безразмерная величина.

Теплопроводность зависит от влажности материала, так как вода обладает большей теплопроводностью (в 25 раз) по сравнению с теплопроводностью воздуха.

Термическое сопротивление R , (м²·°C)/Вт, конструкции толщиной δ равно

$$R = \frac{\delta}{\lambda}.$$

Теплоемкость определяется количеством теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг данного материала, чтобы повысить его температуру на 1 °C. С повышением влажности материалов их теплоемкость возрастает, так как вода имеет теплоемкость 4,19 кДж/(кг·°C).

Огнеупорность – способность материала выдерживать длительное влияние высоких температур под нагрузкой.

Огнестойкость – способность материала выдерживать кратковременное воздействие открытого огня. Различают материалы: *несгораемые*, т.е. которые не горят и не поддерживают горение (бетон, металл, керамика); *трудносгораемые*, т.е. которые при воздействии огня горят (тлеют), а при удалении огня прекращают горение (асфальтобетон, пропитанная антипиренами древесина); *сгораемые* (древесина, полимерные материалы).

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ	9
1.1. Состав строительных материалов	9
1.2. Структура строительных материалов.....	9
1.3. Основные свойства материалов	13
1.3.1. Физические свойства материалов	13
1.3.2. Механические свойства строительных материалов.....	18
1.4. Понятие о композиционных материалах	20
2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	23
2.1. Горные породы как сырьевая база производства строительных материалов.....	23
2.1.1. Магматические горные породы.....	
2.1.2. Осадочные горные породы	23
2.1.3. Метаморфические горные породы.....	28
2.2. Техногенные вторичные ресурсы	33
3. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	41
3.1. Классификация природных каменных материалов.....	41
3.2. Виды и свойства природных каменных материалов.....	43
3.3. Предохранение каменных материалов от разрушения.....	46
4. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ	48
4.1. Общие сведения.....	48
4.2. Свойства древесины.....	50
4.3. Лесоматериалы и изделия из древесины	56
5. ОБЖИГОВЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	58
5.1. Керамические материалы и изделия.....	58
5.2. Стекло и изделия из минеральных расплавов	61
5.2.1. Стекло и изделия из стекла.....	61
5.2.2. Изделия из минеральных расплавов	63
6. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	64
6.1. Классификация и основные виды минеральных вяжущих	64
6.2. Гипсовые и ангидритовые вяжущие вещества	65
6.3. Воздушная строительная известь	68
6.4. Магнезиальные вяжущие вещества	71
6.5. Портландцемент	72

6.6. Разновидности портландцемента.....	87
6.7. Многокомпонентные цементы с минеральными добавками и шлаковые цементы.....	89
6.8. Цементы на основе клинкеров специального состава ..	92
7. БЕТОНЫ	95
7.1. Общие сведения.....	95
7.2. Материалы для изготовления бетонов	95
7.3. Бетонная смесь.....	100
7.4. Структура и свойства тяжелого бетона.....	102
7.5. Подбор состава тяжелого бетона	105
7.6. Специальные виды тяжелых бетонов.....	108
7.7. Легкие и особо легкие бетоны	111
7.8. Железобетон.....	119
8. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ	121
8.1. Основные понятия и классификация.....	121
8.2. Свойства растворов	121
8.3. Сухие строительные смеси.....	123
9. СИЛИКАТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ	126
10. МЕТАЛЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НИХ	128
10.1. Общие сведения.....	128
10.2. Основные виды и марки сталей, применяемых в строительстве.....	134
10.3. Основные виды металлических изделий для строительства	136
10.4. Защита металлов от коррозии	138
11. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ	140
11.1. Битумные и дегтевые вяжущие.....	140
11.2. Асфальтовые бетоны и растворы.....	145
11.3. Полимерные материалы и изделия	156
11.4. Модификация строительных материалов полимерами.....	164
12. ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И КРОВЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	168
12.1. Кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битумов и дегтей.....	168
12.2. Кровельные и гидроизоляционные материалы на основе полимеров.....	174
13. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	177
13.1. Классификация и основные требования	177

13.2. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия	180
13.3. Органические теплоизоляционные материалы и изделия	183
14. АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	187
14.1. Звукопоглощающие материалы	187
14.2. Звукоизоляционные материалы	189
15. ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	191
15.1. Общие сведения	191
15.2. Лакокрасочные материалы	191
15.3. Материалы на основе древесины и продуктов ее переработки	196
15.4. Отделочные каменные материалы	197
15.5. Отделочные материалы из керамики, стекла, металла	198
15.6. Отделочные материалы на основе полимеров	198
16. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	201
16.1. Общие принципы получения строительных материалов	201
16.2. Строительные нанотехнологии	209
16.3. Биотехнологии в строительстве	216
16.4. Основы технологии бетона и железобетона	218
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	226
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ	227
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ЗАДАЧИ ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ И ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	237
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА	251
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА	259

Учебник

Владимир Владимирович **Белов**
Виктория Борисовна **Петропавловская**
Николай Васильевич **Храмцов**

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*
Компьютерная верстка: *Д.А. Матвеев*
Дизайн обложки: *Т.А. Негрозова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 16.03.14.
Формат 60х90/16. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл. 17 п. л. Заказ №

ООО «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26,
отдел реализации к. 511, тел., факс: (499)183-56-83;
е-mail: iasv@iasv.ru, <http://www.iasv.ru/>