

Г.Т. Широкий, М.Г. Бортницкая

# СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

В ЛЕКЦИОННОМ ИЗЛОЖЕНИИ



МИНСК, БНТУ  
2017

Электронное учебное пособие подготовлено в соответствии с Государственными стандартами и типовыми программами по подготовке инженеров строителей и включает 21 лекцию, каждая из которых отражает современные представления и уровень развития науки и техники в различных направлениях строительного материаловедения. Содержание учебного материала в каждой теме построено по схеме – сырье, технология, состав, строение, технические характеристики и назначение строительных материалов и изделий. Все технические характеристики и определения приведены в соответствии с нормативными документами Республики Беларусь, европейскими и международными стандартами. Учебное пособие предназначено для самостоятельной работы студентов и магистрантов строительных специальностей всех форм обучения. Может быть полезным учащимся колледжей, работникам строительной сферы и менеджерам строительных компаний.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Технология бетона и строительные материалы» Белорусского национального технического университета.

## Рекомендуемая учебная и справочная литература

1. Методические указания по изучению дисциплины «Строительное материаловедение», под ред. Г.Т. Широкого, БНТУ, 2014. – 76 с.
2. Широкий Г.Т. Строительное материаловедение / Г.Т. Широкий, П.И. Юхневский, М.Г. Бортницкая, под общ.ред. Э.И. Батяновского.– Минск: Выш. шк., 2016. – 464 с.
3. Строительное материаловедение: Лабораторные работы (практикум) / Я.Н. Ковалев [ и др.] – Минск: БНТУ, 2007. – 534 с.
4. Болотских О. Н. Европейские методы физико-механических испытаний цемента / - Харьков : ХНАГХ, 2015. - 88 с.
5. Болотских, О.Н. Европейские методы физико-механических испытаний бетона / - Харьков : ХНАГХ, 2010. - 143 с.
6. Материаловедение в строительном-монтажных работах /Широкий Г.Т. и др., Адукацыя і выхаванне, 2011. – 351 с.
7. Алимов Л.А. Строительные материалы / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. – Москва: Академия, 2012. – 320 с.
8. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительное материаловедение. – М.: Инфра • Инженерия, 2013. – 832 с.
9. Строительные материалы. (Материаловедение. Строительные материалы) / В.Г. Микульский[и др.]: под общ.ред. В.Г. Микульского.- 4-е изд.- Москва: Ассоциация строительных вузов. 2004.- 533 с.
10. Юхневский П.И. Строительные материалы и изделия / П.И. Юхневский, Г.Т. Широкий. – Минск: УП «Технопринт». 2004. – 476 с.
11. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение / И.А. Рыбьев.- 2-е изд. – Москва: Высшая школа, 2004. – 702 с.
12. Широкий Г.Т. Архитектурное материаловедение / Г.Т. Широкий, П.И. Юхневский, М.Г. Бортницкая. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2008. – 280 с.
13. Широкий Г.Т. Материаловедение в отделочных и реставрационно-восстановительных работах / Г.Т. Широкий, П.И. Юхневский, М.Г. Бортницкая. – Минск: Выш. шк., 2010. – 351 с.
14. Киреева Ю.И. Современные строительные материалы и изделия / Ю.И. Киреева. – Россия: Феникс, 2010. –256с.
15. Батяновский Э.И. Монолитный бетон сухого формования / Э.И. Батяновский, В.Ю. Мирончик. – Минск: Стринко, 2003. – 176 с.
16. Широкий Г.Т. Материаловедение в санитарно-технических системах / Г.Т. Широкий, П.И. Юхневский, М.Г. Бортницкая. – Минск: Выш. шк., 2009. – 302 с.
17. Широкий Г.Т. Материаловедение кровельных систем / Г.Т. Широкий, П.И. Юхневский, М.Г. Бортницкая. – Минск: Выш. шк., 2012. – 303 с.
18. Мещеряков Ю.Г., Строительные материалы / Ю.Г. Мещеряков, С.В. Федоров. – НОУ ДПО «ЦИПК». – СПб, 2013. – 400 с.
19. Юхневский П.И. Арматурные, бетонные, каменные, монтажные работы. Материаловедение / П.И. Юхневский, Г.Т. Широкий. – 2-изд. - Минск: Вышэйшая школа, 2005. – 466 с.

20. Основин В.Н. Строительные материалы и изделия. /В.Н. Основин, Л.В. Шуляков. – Минск: Выш.шк., 2008. – 224 с.
21. Батяновский Э.И. Технология зимнего монолитного бетонирования / Э.И. Батяновский[и др.]. – Минск: БНТУ, 2005. – 238 с.
22. Кузменков М.И. Вяжущие вещества и технология производства изделий на их основе. /М.И. Кузменков, Т.С. Куницкая. - Минск: БГТУ, 2003.- 218 с.
23. Кузменков М.И. Химическая технология вяжущих веществ. /М.И. Кузменков, О.Е. Хотянович. - Минск: БГТУ, 2008.- 276 с.
24. Юхневский П.И. Влияние химической природы добавок на свойства бетонов / П.И. Юхневский. – Минск: БНТУ, 2013. – 310 с.
25. Широкий Г.Т. Материаловедение в столярных, паркетных и стекольных работах. /Г.Т.Широкий, М.Г. Бортницкая. – Минск: Выш. шк., 2015. – 304 с.

# m

"... Ученье без размышления бесполезно, но и  
размышление  
без ученья опасно..."  
(Конфуций, древний мыслитель и философ Китая,  
551...479 гг до Рождества Христова)

---

Лекция № I

# V

## СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. Общие сведения.
2. Составы и структура материалов.
3. Структурно-физические свойства.
4. Гидрофизические свойства.
5. Теплофизические свойства.
6. Акустические свойства
7. Эстетические свойства.
8. Химические свойства.
9. Технологические свойства.
10. Механические свойства.
11. Эксплуатационные свойства.

### 1. Общие сведения

**Материаловедение**, в том числе строительное, является прикладной наукой о связях между составом, строением и свойствами материалов, а также закономерностях их изменений при внешних и внутренних химических, физических и механических воздействиях.

**Материал** (от лат. *materia* – вещество) определяется чаще всего как разновидность вещества (совокупности веществ) или промежуточный продукт переработки веществ, которые уже преобразованы или могут быть преобразованы в продукты труда определённой формы и содержания с целью их дальнейшего практического применения или преобразования в изделия (СТБ EN ISO 10456 и ГОСТ 3.1109).

**Строительными** называют материалы (как природного, так и искусственного происхождения), композиции или изделия из них, имеющие сложный состав, заранее заданную структуру, внешнюю форму, и применяемые непосредственно в строительных

целях (для изготовления строительных конструкций, возведения зданий и сооружений и выполнения защитно-отделочных покрытий).

**Изделие** – это единица продукции, имеющая законченную геометрическую форму, и представляется как элемент строительной конструкции, изготовленный из материала или вещества вне места его применения и поставляемый для использования в готовом виде (СТБ EN ISO 10456, ТР 2009/013/ВУ и ГОСТ 13015). Для изготовления строительных материалов и изделий используются различные виды сырья (органической и не органической природы).

**Сырье** (сырой материал) – это тоже предмет труда, подвергшийся ранее обработке с целью дальнейшего превращения в материал более совершенной формы или изделие.

Строительные материалы могут быть природного происхождения и искусственно изготовленные. **Природные** материалы добывают в местах их естественного происхождения – горные породы (гранит, мрамор, мел), древесина и др. Используют их в строительстве, применяя преимущественно механическую переработку – дробление, обогащение, распиловку. Состав и свойства полученных таким образом материалов практически не отличаются от свойств и состава исходного сырья.

**Искусственно** изготовленные материалы и изделия тоже, как правило, получают из природного минерального (глина, известняк) или органического (древесина, углеводороды) сырья, промышленных отходов (шлаки, зола) с использованием достаточно сложных технологических приемов. В результате искусственно полученные материалы и изделия приобретают новые свойства, состав и структуру существенно отличающиеся от характеристических показателей исходного сырья (минеральные и органические вяжущие, керамические и стеклянные материалы, металлы, полимеры и др.).

Все строительные материалы и изделия имеют названия, определенную структуру, отличаются способами производства, показателями качества или свойствами, их численными значениями, условиями и особенностями применения и т.д. Под **свойствами** материалов понимают их способность реагировать определённым образом на отдельные или совокупные внешние и внутренние воздействия – *механические, химические, биологические и др.* Они характеризуют собой общность или различие одних материалов по отношению к другим и проявляются в процессе переработки, применения, эксплуатации, испытания или сравнения. Например, действие на материал отрицательных температур характеризует его *морозостойкость*, огня – *огнестойкость*, сопротивляться воздействию нагрузок – *прочность, упругость* и др. В материаловедении такая характеристика является заключительным звеном во взаимосвязи «состав – химическая связь – структура – свойство», а при разработке технологии и создании нового материала – основным определяющим параметром или условием его получения.

Различают простые и сложные свойства. *Простые свойства* – которые нельзя разделить на другие. Например, масса материала не может быть представлена другими более простыми свойствами. *Сложное свойство* – может быть разделено на два и более простых свойств. Например, *долговечность* или *надёжность* материала, которые характеризуются многими факторами в условиях эксплуатации (действие влаги, температуры, ветра, солнечной радиации, нагрузки и др.). По совокупности признаков различают физические, механические, химические, технологические, эксплуатационные, специальные и другие свойства (рис. 1.1). Все эти свойства взаимосвязаны между собой. Например, от структурно-физических свойств зависят механические, технологические, акустические, от механических – эксплуатационные, от технологических – механические, эстетические и др.

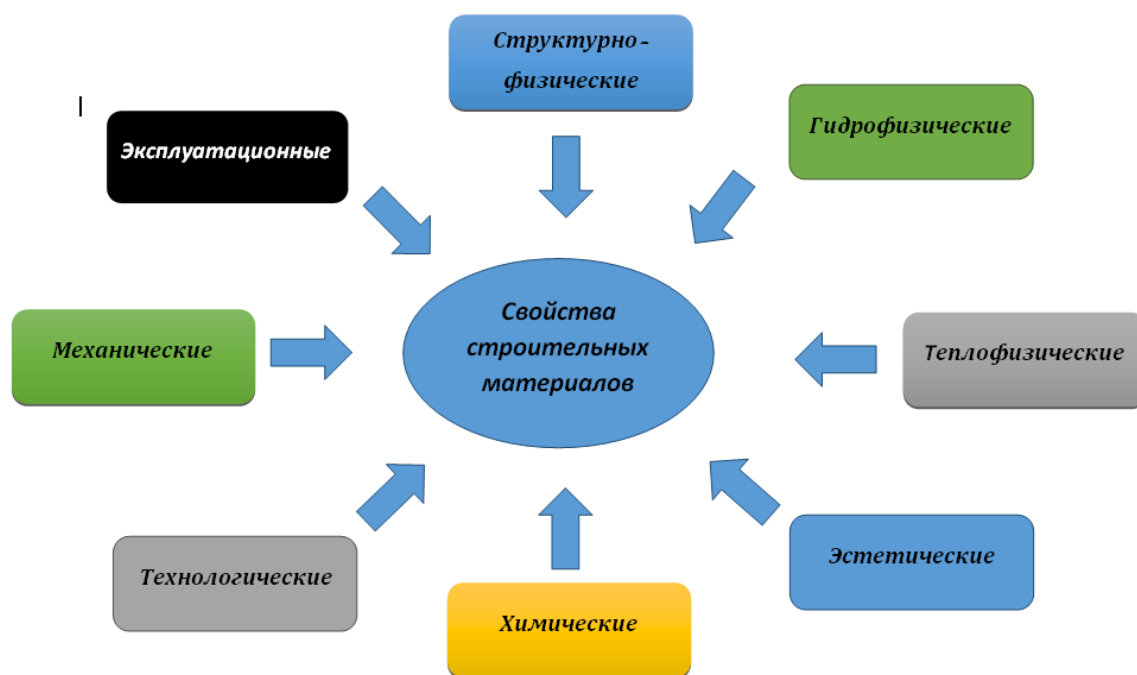


Рис. 1.1. Классификация основных свойств строительных материалов

По совокупности свойств строительных материалов судят о их качестве, а уровень качества определяется (оценивается) количественной характеристикой, т.е. численными значениями этих свойств в соответствии с назначением материала. Например, для кровельных материалов оценка их качества проводится по сумме таких свойств как, *водонепроницаемость*, *водостойкость*, *морозостойкость*, *термостойкость*, *прочность на изгиб*, *атмосферостойкость* и др. Следовательно, свойства строительных материалов определяют области их применения. И только при правильной оценке этих свойств или качества строительных материалов могут быть получены прочные и долговечные строительные конструкции зданий и сооружений и высокой технико-экономической эффективности.

*Примечание – 1. Под **качеством** материала (изделия) понимается сумма свойств, определяющих их пригодность для использования по назначению. **Контроль качества** осуществляется в соответствии с нормативными документами.*

*2. Численные значения свойств строительных материалов получают при лабораторных или натурных испытаниях и выражают физическими величинами в соответствии с действующими нормативными документами и согласно Международной системе единиц *Si* (в русской транскрипции СИ – эс-и).*

*3. Система древнерусских мер длины включала в себя версту, сажень, аршин, локоть, пядь и вершок. В XVII веке русская сажень специальным указом Петра I была определена в 7 английских футов. В 1875 году в Париже 17 стран подписали конвенцию, в которой метрическая система мер была признана международной (SI – начальные буквы французского наименования *Systeme International*), а также утверждены эталоны **метра** и **килограмма** для обеспечения всеобщего единства измерений. В нашей стране метрическая система полностью заменила старинную русскую лишь в 1918 году.*

Для взаимосогласованности и координации размеров строительных материалов, изделий и частей зданий используется условная единица измерения – *модуль* (основной, равный 100 мм) и производные (укрупненный – 3 М, 6 М и т.д. и дробный – 1/2 М, 1/42 М, 1/5 М и т.д.). Модуль условно обозначается буквой М (ГОСТ 28984). Размеры, равные или кратные основному или производному модулю в установленных для них пределах и области применения, называют модульными. Например, кирпич модульных размеров – 288x138x65 мм, 250x138x88 мм и др.

На все строительные материалы и изделия, выпускаемые различными производителями, имеются нормативно-правовые документы (ТНПА – технические нормативно-правовые акты), которые регламентируют их технические характеристики, технологические процессы, правила эксплуатации, перевозки, хранения, утилизации, а также требования к терминологии, символике, упаковке и маркировке. В настоящее время Национальная нормативно-правовая система в нашей стране представлена национальными стандартами Республики Беларусь (СТБ), строительными нормами (СНБ), межгосударственными стандартами стран СНГ (ГОСТ, ГОСТ EN), международными (ISO и СТБ ISO), европейскими (EN и СТБ EN), стандартами России (ГОСТ Р) и нормативно-правовыми документами организаций (СТО). Большинство стандартов на строительные материалы и изделия – это технические требования и методы испытания. Такие документы призваны способствовать повышению качества выпускаемой продукции и её безопасности.

*Примечание – Стандарты могут быть как на конкретную продукцию, так и укрупненными, содержащими разделы по проектированию, технологии строительства и строительным материалам (СНиП и др.).*

## 2. Составы и структура материалов

Свойства строительных материалов формируются в процессе изготовления и в значительной степени определяются их составом и строением. Знание состава сырья и материалов позволяет прогнозировать свойства получаемых изделий при изготовлении и получать их с заданными качественными характеристиками на длительный период эксплуатации. Различают химический, минеральный (минералогический) и фазовый (твёрдый, жидкий, газообразный) составы.

**Химический состав** указывает на процентное содержание в материале химических элементов или оксидов и позволяет судить об их химической стойкости, прочности, огнестойкости, биостойкости и других свойствах. Например, в состав глины входят кремнезём  $SiO_2$ , глинозём  $Al_2O_3$ , оксиды железа  $Fe_2O_3$ , кальция  $CaO$  и другие соединения. С повышением содержания кремнезёма  $SiO_2$  снижается связующая способность глин, прочность в высушенном и обожжённом состоянии, повышается пористость изделий. Глинозём  $Al_2O_3$  повышает пластичность и огнеупорность глин, прочность обожжённых изделий. Оксид кальция  $CaO$  понижает температуру плавления, изменяет окраску обожжённых изделий, повышает их пористость, снижает прочность и морозостойкость.

В зависимости от химического состава все материалы делятся на органические (древесина, битум, пластмассы), минеральные (бетон, цемент, кирпич, природный камень и др.) и металлы (сталь, чугун, алюминий). К органическим относят соединения углерода с другими элементами (преимущественно водородом, кислородом и азотом). В строительной практике находят применение и органоминеральные материалы, например, кремнийорганические полимеры (силиконы, полиорганосилоксаны), в молекулах которых имеется связь между атомами кремния и углерода. Это могут быть вязкие бесцветные жидкости, твёрдые эластичные вещества (каучуки) или хрупкие материалы – пластики. Каждая группа имеет свои особенности. Все органические материалы – горючие, минеральные – огнестойкие, металлы хорошо проводят электрический ток и теплоту и т.д.

**Минералогический состав** показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся в каменном материале, вяжущем веществе и других композиционных составах. Например, известняк, мел состоят из одного минерала – кальцита, а мергель – из нескольких минералов. Зная минеральный состав, можно предопределить как физические, химические свойства, так и более специфические характеристики, такие как пластичность, огнеупорность, вязкость, способность к кристаллизации, скорость твердения, коррозионную стойкость. Например, по содержанию алита ( $3CaO \cdot SiO_2$ ) в портландцементном клинкере (45...60%) можно судить о скорости твердения и прочности цементного камня, по содержанию породообразующих минералов кварца и полевого шпата в гранитах об их твёрдости, хрупкости и способности к обработке.

**Фазовый состав** указывает на содержание в материале фаз, т.е. частей однородных по химическому составу и физическим свойствам и отделённых друг от друга поверхностями раздела. Если структуру составляют несколько фаз, то между ними заметна линия или граница раздела. Например, основными фазами раздела цементного клинкера являются алит, белит, алюминат и др. В пористом материале выделяют твёрдые вещества, образующие стенки пор, и сами поры, заполненные воздухом или водой. Если вода замёрзнет в порах, то изменятся и свойства материала. Следовательно, фазовый состав материала и фазовые переходы воды в нем оказывают влияние на свойства и поведение материала при эксплуатации. Материалы, представленные одной фазой, называются *гомогенными*, а двумя и более – *гетерогенными*.

Если характеризовать состав композиционных материалов, то лучше говорить о **вещественном составе**, поскольку они состоят из нескольких веществ, каждый из которых может иметь свой достаточно сложный химический и минеральный составы. Например, портландцемент кроме минералов клинкера содержит добавку гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – для регулирования сроков схватывания) и другие добавки. Содержание таких компонентов и есть вещественный состав.

Под **структурой** (от лат. *structura* – строение) строительных материалов понимают совокупность устойчивых связей, обеспечивающих их целостность или внутреннее строение, обусловленное формой, размерами, взаимным расположением составляющих их частиц, пор, капилляров, микротрещин. Структура материала может в значительной степени влиять на его свойства и качественные показатели в целом. Например, горные породы известняк, мел и мрамор, имея одинаковый химический и минералогический составы, но различную внутреннюю структуру, по свойствам существенно отличаются друг от друга.

Различают макроструктуру (от греч. *macros* – большой), микроструктуру (*micros* – малый) материала и внутреннее строение на молекулярно-ионном уровне (наноструктуру). **Макроструктура** материала видима невооружённым глазом (визуально) или при небольшом увеличении (до 6 раз). При этом различают структуру поверхностного и внутреннего слоёв. **Микроструктура** – это строение, видимое под микроскопом.

Макроструктура материала может быть однородной и неоднородной, зернистой (конгломератной или рыхлозернистой), ячеистой (мелко-, средне и крупнопористой), волокнистой, слоистой и др. Материалы, состоящие из отдельных, не связанных между собой зёрен, образуют *рыхлозернистую* структуру. Это песок, гравий, порошкообразные материалы, различные засыпки для тепло- и звукоизоляции. *Конгломератная структура* - когда отдельные зерна надёжно соединены между собой (бетоны, некоторые природные и керамические материалы). *Ячеистая структура* характерна для материалов, имеющих макро- и микропоры (пено- и газобетоны, газосиликаты, ячеистые пластмассы). *Волокнистую структуру* имеют материалы, у которых волокна

расположены параллельно одно другому. При этом они обладают различными свойствами вдоль и поперёк волокон, так называемые анизотропные материалы. Волокнистая структура присуща древесине, минераловатным изделиям. *Слоистую структуру* имеют листовые, рулонные и плитные материалы (текстолит, бумажнослоистый пластик, глинистые сланцы и др.).

В зависимости от порядка расположения атомов и молекул, материалы могут иметь строго упорядоченное строение – кристаллическое и неупорядоченное, хаотическое – аморфное. *Кристаллическая структура* образуется при очень медленном охлаждении расплавов, когда атомы (ионы) имеют возможность перемещаться в пространстве и занимать наиболее устойчивое положение. Линии, условно проведённые через центры атомов в трёх направлениях в таких структурах, являются прямыми и образуют так называемую кристаллическую решётку. Поэтому кристаллическими называют материалы, в которых атомы и молекулы расположены в правильном геометрическом порядке в трёхмерном пространстве и образуют кристаллическую решётку (рис. 1.2). Примером может служить металл, гранит, мрамор и др.

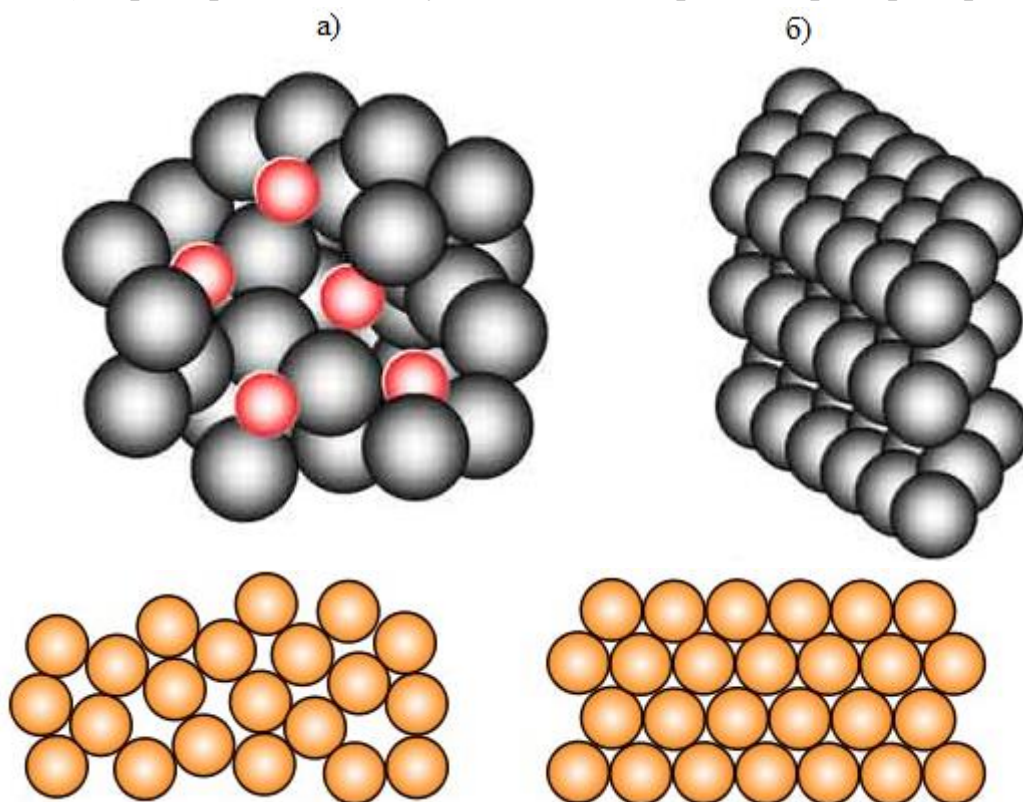


Рис. 1.2. Аморфная (а) и кристаллическая (б) структура

*Аморфная* (бесформенная) *структура* образуется при быстром охлаждении расплавов, когда атомы при переходе в твёрдое состояние не успевают образовать кристаллическую решётку, а остаются вблизи тех положений, которые занимали в расплаве. Поэтому аморфными называют материалы, в которых атомы и молекулы расположены беспорядочно (хаотически). Однако аморфная структура не является совершенно беспорядочной. Некое подобие порядка наблюдается в ближайшем

окружении атомов. Кроме того, в отличие от кристаллического состояния веществ, аморфное является термодинамически неустойчивым (метастабильным). При определённых условиях (температура, давление, время) аморфные материалы могут перейти в кристаллические. Примером может служить система «стекло – ситалл». По прошествии некоторого времени аморфные вещества тоже переходят в кристаллические. Однако время это может быть весьма значительным и измеряться годами и десятилетиями.

Часто кристаллическая и аморфная формы микроструктуры могут характеризовать лишь различное состояние одного и того же вещества (кристаллический кварц и аморфный кремнезём). При этом кристаллическая форма всегда более устойчивая. Например, чтобы вызвать химическое взаимодействие между кварцевым песком и известью в производстве силикатных изделий, необходимо применить автоклавную обработку в среде насыщенного пара при повышенной температуре (175 °С) и давлении (0,8 МПа). В то же время диатомиты и трепелы (аморфная форма диоксида кремнезёма) взаимодействуют с известью и водой при нормальной температуре (15 °С) и давлении.

Различие между аморфными и кристаллическими материалами ещё в том, что кристаллические материалы при нагревании имеют определённую температуру плавления, которая равна температуре отвердевания. Аморфные материалы при нагревании размягчаются и постепенно переходят в жидкое состояние. Кроме того, прочность аморфных материалов, как правило, ниже кристаллических. Поэтому иногда для получения более высокой прочности аморфного материала специально проводят его кристаллизацию. Тот же пример с ситаллами и шлакоситаллами.

Аморфный материал, как правило, изотропный. Кристаллический – в микрообъёме может быть анизотропный, в макрообъёме, когда кристаллы расположены хаотически (гранит), – изотропны. Аморфные вещества могут быть прозрачны, так как не имеют границ между кристаллами, рассеивающих световые волны. Поэтому аморфные вещества называют ещё стеклянными, а их структуру – стеклообразной, как частный случай аморфной. Однако любое вещество, например металл, если охладить достаточно быстро (100 град/сек.), то оно станет аморфным. Сегодня технически это возможно, и такие металлы уже получают.

### **3. Структурно-физические свойства**

Структурно-физические свойства строительных материалов определяются параметрами их физического состояния и структуры. Они характеризуют вещество и структуру материала как физического тела, а также способность реагировать на внешние воздействия, не вызывающие изменения их химического состава и структуры.

**Плотность** – величина, определяемая отношением массы материала (вещества) к занимаемому им объёму, т.е. масса единицы объёма материала:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где  $m$  – масса, кг (г);  $V$  – объём, м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>).

Размерность плотности – кг/м<sup>3</sup> или г/см<sup>3</sup>, т/м<sup>3</sup>, кг/л.

Плотностью близкой к теоретической (максимальной) обладают металлы, жидкости, стекло, некоторые полимеры и пластмассы. Однако большинство строительных материалов в большей или меньшей степени имеют пористое строение, т.е. помимо твёрдого вещества в нем находятся ячейки (поры), заполненные воздухом или водой. Плотность таких материалов ниже плотности твёрдого вещества. Поэтому различают истинную, среднюю и насыпную (для сыпучих или зернистых материалов) плотность, а также плотность зёрен сыпучих материалов (чаще всего крупных заполнителей для бетона). Для лучшего усвоения и более глубокого физического понимания, плотность строительных материалов часто сравнивают с плотностью воды, равной 1,0 г/см<sup>3</sup> при 4 °С.

*Истинная плотность* или плотность вещества (абсолютная плотность) – масса единицы объёма материала в абсолютно плотном состоянии. Это значит, что при измерении объёма в него не входят поры, пустоты, трещины и другие полости, присущие материалу в естественном состоянии:

$$\rho_{и} = \frac{m}{V_{А}}$$

Следовательно, истинная плотность – это характеристика не материала, а вещества, из которого состоит материал. Для определения истинной плотности, материал предварительно измельчают в тонкий порошок до тонкости 0,25 мм, чтобы при определении объёма исключить поры. Масса порошка определяется взвешиванием, а объём в абсолютно плотном состоянии ( $V_{А}$ ) – в пикнометре или приборе Ле Шателье по объёму вытесненной жидкости.

Истинная плотность материала – характеристика постоянная (физическая константа), которая не может быть изменена без изменения его химического состава или молекулярной структуры. Для большинства строительных материалов значение истинной плотности более 1 г/см<sup>3</sup>. Например, для природных и искусственных каменных материалов – 2,2...3,3 г/см<sup>3</sup>; для органических (дерево, битум, пластмассы) – 0,8...1,6 г/см<sup>3</sup>; чёрных металлов – более 7,0 г/см<sup>3</sup>. Для жидкостей и материалов, полученных из расплавленных масс (металл, стекло, некоторые горные породы: гранит, базальт и др.), истинная плотность практически соответствует их плотности в естественном состоянии, так как объём внутренних пор у них незначителен.

Для строительных материалов истинная плотность имеет вспомогательное значение. Её используют при вычислении показателей плотности и пористости материалов, в расчётах состава бетона и т.п.

*Средняя плотность* (плотность материала, кажущаяся плотность) – масса единицы объёма материала в естественном состоянии, т.е. объём материала измеряется вместе с имеющимися в нем порами и пустотами. Рассчитывается средняя плотность путем деления массы образца  $m$  на его объем  $V_E$

$$\rho_c = \frac{m}{V_E}.$$

При определении средней плотности, объём материала устанавливают по внешним размерам образца или по объёму вытесненной им жидкости, если испытываемый образец имеет неправильную форму.

Средняя плотность материалов не является величиной постоянной и в зависимости от их вида и структуры может изменяться в достаточно широких пределах – от 10 кг/м<sup>3</sup> (для отдельных видов пенопластов, мипоры и др.) до 7850 кг/м<sup>3</sup> (сталь) и более. Численное значение средней плотности для одного и того же вида материала может быть тоже различным в зависимости от количества пор и пустот в нём, т. е. изменяя структуру и пористость, можно получать материалы требуемой плотности. Например, с изменением пористости плотность ячеистых бетонов может изменяться в пределах от 350 до 1200 кг/м<sup>3</sup>, керамического кирпича – от 1200 до 1900 кг/м<sup>3</sup>.

У подавляющего большинства строительных материалов (пористых) величина средней плотности всегда меньше истинной, так как на одну и ту же единицу массы приходится больший объём. Например, у кирпича – соответственно 1800 и 2600 кг/м<sup>3</sup> (в 1,5 раза меньше), древесины (сосна) – 450 и 1540 кг/м<sup>3</sup> (в 3 раза меньше), гранита – 2500...2700 кг/м<sup>3</sup> и 2700...3000 кг/м<sup>3</sup>, т.е. почти одинакова. Разница между ними тем больше, чем больше пористость. Если у кирпича пористость составляет 30%, то у газобетона – 80%, при истинной плотности 2600 кг/м<sup>3</sup> и средней – 500 кг/м<sup>3</sup>.

Численные значения средней и истинной плотности вещества совпадают, когда материал не имеет пор, т.е. для абсолютно плотных материалов. Например, металл, стекло и др. Для сравнения в таблице 1.1 приведены значения истинной и средней плотности отдельных видов строительных материалов.

В большинстве своём (за исключением кварца, металлов, стекла и битума) материалы имеют пористое строение. Воздух, находящийся в порах материала, значительно хуже проводит тепло, чем твёрдое вещество. Поэтому по численному значению средней плотности можно в первом приближении судить о теплопроводности материала. Хотя при строительстве отапливаемых зданий толщина их наружных стен рассчитывается в зависимости от теплопроводности материала, но, зная плотность материала, можно приблизительно представить себе, какой должна быть толщина стены.

Таблица 1.1. Значения плотности некоторых строительных материалов

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	
	истинная	средняя (насыпная)
Сталь	7850...7900	7800...7850
Гранит	2700...2800	2600...2700
Мрамор	2700...2730	2600...2700
Бетон тяжёлый ячеистый	2600...2900	2200...2500
	2500...2600	350...1200
Кирпич полнотелый пустотелый	2600...2700	1700...1900
	2600...2700	1450...1600
Древесина сосны	1540	450...500
	дуба	1540
Пенополистирол	1000...1200	50...150
Песок	2500...2600	(1500...1700)
Гравий	2500...2600	(1500...1700)
Щебень	2600...2700	(1350...1450)
Керамзит	2650	350...600
Цемент	3050...3150	(900...1300)
Пеностекло	2500	200...400

На среднюю плотность влияет содержание воды в материале, т. е. влажность материала. С увеличением влажности средняя плотность материала увеличивается. Например, средняя плотность сухой древесины (сосны) составляет 450 кг/м<sup>3</sup>, а влажной может достигать 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Средняя плотность является необходимой характеристикой при расчёте прочности сооружений с учётом собственной массы, для определения стоимости и способа перевозок материалов, для расчёта складов и подъёмно-транспортного оборудования, при переводе количества материала из массовых единиц в объёмные, при расчёте пористости, при подборе состава бетона, дозировке материалов в бетон и т.д. Для некоторых строительных материалов (теплоизоляционных, легких бетонов) средняя плотность является определяющей характеристикой деления их на марки. Например, марка ячеистого бетона D400 показывает, что среднее значение плотности не превышает 400 кг/м<sup>3</sup> (СТБ 1570, ГОСТ 25485, 27005 и 31359).

Для сыпучих или зернистых материалов (заполнителей для бетона) характеристикой плотности являются насыпная плотность и плотность зёрен.

*Насыпная плотность* – отношение массы рыхло насыпанных зернистых и порошкообразных материалов ко всему занимаемому ими объёму, включая поры в зёрнах и объём пустот между зёрнами, так называемую *межзерновую пустотность*. Определяется в стандартных мерных сосудах, выбор объёма (вместимости) которых зависит от вида и величины зёрен сыпучего материала (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Мерные сосуды емкостью 10, 5, 2 и 1 литр для определения насыпной плотности заполнителей

Насыпная плотность сыпучих материалов величина не постоянная и зависит не только от пористости самих зёрен и межзерновой пустотности, но и от степени их уплотнения и влажности. В уплотнённом состоянии насыпная плотность таких материалов всегда больше, чем в рыхло насыпном, с повышением влажности плотность их (за исключением песка) тоже повышается.

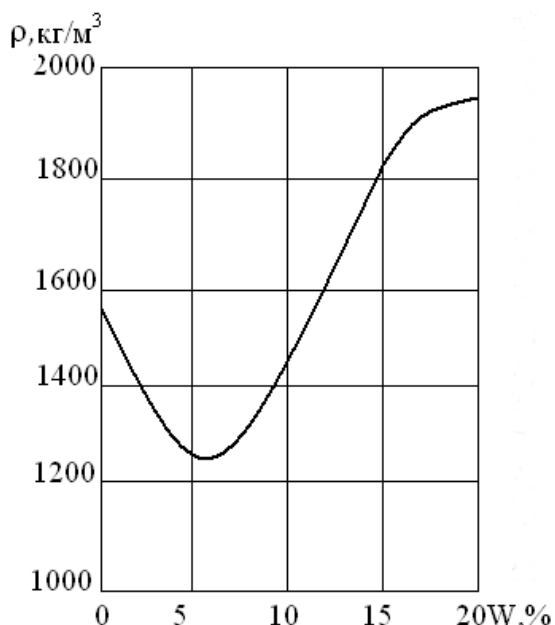


Рис. 1.4. Зависимость насыпной плотности песка от его влажности

Зависимость насыпной плотности песка от его влажности показана на графике (рис. 1.4). Насыпная плотность сухого песка в зависимости от его минералогического состава составляет 1500...1700 кг/м<sup>3</sup>. С увеличением влажности до 6...7 % насыпная плотность песка уменьшается до 1250...1350 кг/м<sup>3</sup>. Объясняется это тем, что при увлажнении песок комкуется (зерна слипаются в отдельные агрегаты, комки), образуется рыхлая структура, увеличивается межзерновая пустотность, соответственно увеличивается и объём. При влажности песка 3...5% его объём увеличивается на 20...30%. Наибольшее разрыхление песка происходит при влажности 6...7%. При дальнейшем увлажнении песка вода попадает в пустоты между зёрнами, воздух

вытесняется, и при неизменном объёме песка его масса увеличивается, а, следовательно, увеличивается и насыпная плотность. Изменения насыпной плотности песка с изменением влажности необходимо учитывать при дозировке составляющих бетона по объёму.

*Плотность зёрен заполнителя* – отношение массы пробы сухого заполнителя к суммарному объёму его зёрен, т.е. без объёма межзерновых пустот, но с учётом пор, содержащихся в зёрнах заполнителя. Например, истинная плотность гранитного щебня составляет  $2700 \text{ кг/м}^3$ , плотность зёрен –  $2600 \text{ кг/м}^3$ , а насыпная плотность –  $1450 \text{ кг/м}^3$ . При определении плотности зёрен заполнителя, их объём устанавливается путём гидростатического взвешивания навески заполнителя (рис. 1.5). Методика гидростатического взвешивания основана на законе Архимеда, согласно которому на погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила, равная весу жидкости в объёме тела.

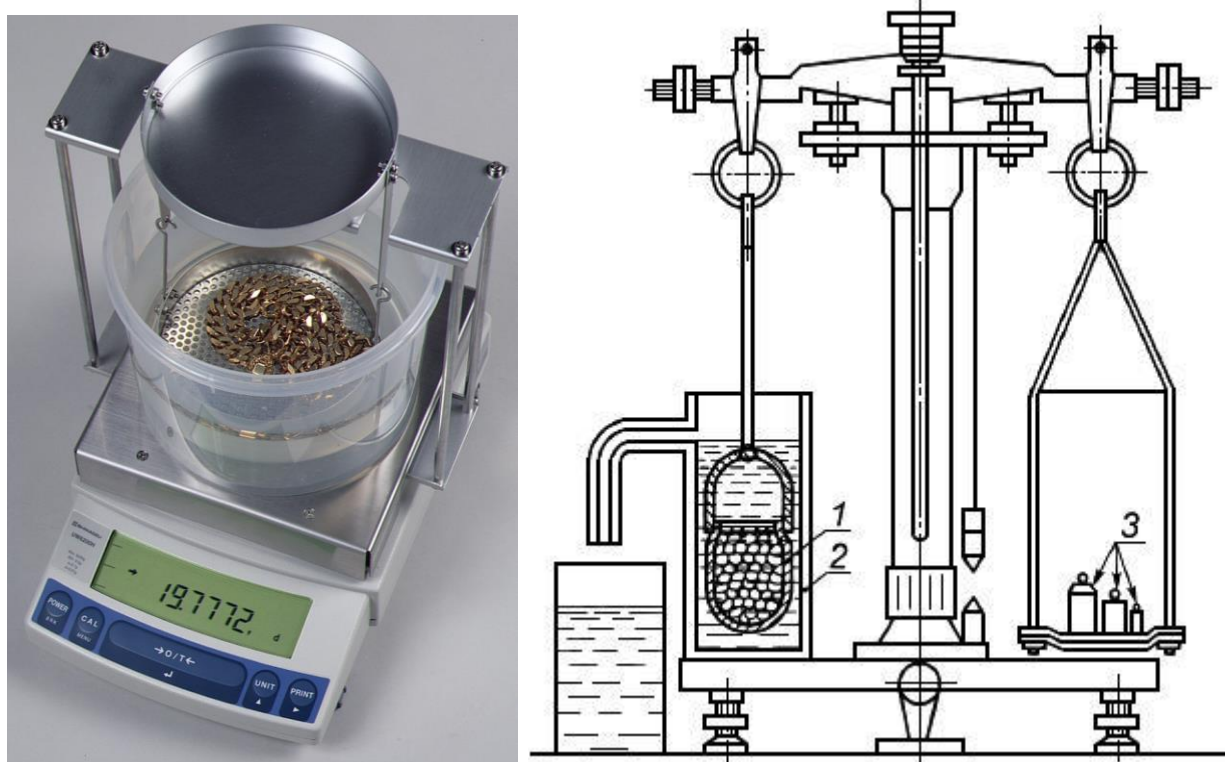


Рис. 1.5. Весы для гидростатического взвешивания

Отношение средней плотности материала к истинной  $\left(\frac{\rho_c}{\rho_u}\right)$  – называют *показателем плотности* или *относительной плотностью*. Выражается в долях единицы или в процентах от объёма материала, т.е. показывает степень заполнения объёма материала плотным веществом. Чем меньше разность между численными значениями средней и истинной плотности, тем выше значение показателя плотности материала. Например, для кирпича:  $\frac{1800}{2600} = 0,7$  или 70 %, для гранита:  $\frac{2600}{2700} = 0,97$  или 97 %.

Для абсолютно плотных материалов показатель плотности равен 1,0 или 100%.

**Пористость и пустотность.** Величина обратная показателю плотности есть показатель пористости (далее пористость). Следовательно, *пористостью* называют совокупность пор и трещин в единице объёма материала, заполненных или не заполненных жидкой или газообразной фазой. Пористость дополняет показатель плотности до единицы или 100% и указывает на степень заполнения объема материала порами. Общую пористость рассчитывают по величине их истинной и средней плотности.

*Примечание* – Разность между численными значениями истинной и средней плотности, отнесенная к численному значению истинной плотности и есть пористость.

Если принять общий объём материала за единицу или за 100%, то разность между единицей и показателем плотности будет выражать собой численное значение пористости (***П***)

$$P = \left( 1 - \frac{\rho_c}{\rho_{и}} \right) \cdot 100\% .$$

Понятие «пустотность» по физическому смыслу сродни понятию «пористость». Однако на практике принято считать, что *поры* (от греч. *poros* – пора, отверстие) – это мелкие ячейки в материале размером, как правило, до 2 мм, а более 2 мм, а также воздушные полости и промежутки между зёрнами сыпучего материала принято называть *пустотами*. Поэтому пористость не следует отождествлять с понятием «пустотность», которая, например, в пустотелом кирпиче или между зёрнами заполнителя составляет соответственно 15...50% и 35...45%. Следовательно, порами можно считать все элементы его структуры, не занятые твердыми фазами исходных компонентов и новообразований.

*Примечание* – Количество пустот, образующихся между зёрнами рыхлонасыпного материала, выраженное в процентах по отношению ко всему занимаемому объёму, называют *пустотностью*.

Пористость строительных материалов колеблется в довольно широких пределах – от 0% до 90% и более. Например, для стекла и металла пористость составляет практически 0%, пенопластов – 92...98%, кирпича полнотелого – 30...35%, пенобетона – 60...80%, минеральной ваты – до 95% и древесины – 50...75%. По показателям пористости различают низкопористые ( $P \leq 30\%$ ), среднепористые ( $P = 30...50\%$ ) и высокопористые ( $P > 50\%$ ) материалы.

Большое влияние на свойства материала оказывает не только общая величина пористости, но и геометрическая и структурная характеристики пор. Поры в материалах могут быть крупные и мелкие; открытые, закрытые и сообщающиеся; в виде ячеек и

капилляров и др. Они могут быть заполнены воздухом, во влажном состоянии – водой, при отрицательных температурах – льдом. С теплозащитной точки зрения лучше мелкие, замкнутые поры и равномерно распределённые по всему объёму материала.

Пористость, пустотность и плотность являются важными характеристиками строительных материалов. С ними связаны такие свойства строительных материалов как прочность, теплопроводность, водопоглощение, влажность, водопроницаемость, морозостойкость, кислотостойкость и др.

#### 4. Гидрофизические свойства

Гидрофизические свойства характеризуют поведение материалов и условия их хранения и эксплуатации при воздействии влаги и водяных паров, содержащихся в воздухе. Влага, проникающая в строительные материалы и изделия, в отдельных случаях может оказывать благоприятное воздействие на процессы, происходящие в их структуре, например, при твердении бетонов и строительных растворов. Однако в большинстве случаев вода оказывается одной из основных причин разрушения и ухудшения их теплозащитных и других свойств.

**Водопоглощение** – способность материала впитывать и удерживать в порах (пустотах) влагу при непосредственном контакте с водой. Характеризуется количеством воды, которую поглощает сухой материал при полном погружении и выдерживании в воде заданный промежуток времени, отнесённым к массе сухого материала (*водопоглощение по массе*  $W_m$ ) или к объёму материала в сухом состоянии (*водопоглощение по объёму*  $W_{об}$ ). Водопоглощение по объёму и по массе выражают относительным числом или в процентах и вычисляют по формулам:

$$W_m = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100\%$$

$$W_{об} = \frac{m_n - m_c}{\rho_v \cdot V} \cdot 100\% ,$$

где  $m_c$  – масса сухого образца, г;  $m_n$  – масса образца, насыщенного водой, г;  $\rho_v$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>;  $V$  – объём образца в сухом состоянии, см<sup>3</sup>. Водопоглощение по массе показывает степень увеличения массы материала (за счёт поглощённой воды), а водопоглощение по объёму – степень заполнения объёма материала водой. Водопоглощение по массе и по объёму характеризует собой предельное состояние, когда материал больше не в состоянии поглощать влагу.

*Примечание* – Термин «водопоглощение» можно обозначить также как способность материала увеличивать свою влажность при контакте с водой.

Отношение между водопоглощением по объёму и по массе численно равно средней плотности материала, т.е. разделив почленно  $W_{об}$  и  $W_m$ , получаем формулу для перехода от одного вида водопоглощения к другому

$$W_{об} = W_m \cdot \rho_m.$$

Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах. Например, водопоглощение по массе ситаллов и шлакоситаллов составляет 0%, керамического гранита не превышает 0,05%, натурального гранита – 0,02...0,5%, тяжёлого бетона – 3...8%, керамического кирпича – 8...20%, а пористых теплоизоляционных материалов может превышать 100%.

Водопоглощение по объёму является косвенной характеристикой открытой пористости, и поэтому иногда называют *кажущейся пористостью*. Однако пористость материалов по абсолютному значению всегда выше водопоглощения по объёму, т.к. вода в обычных условиях не заполняет все поры. Водой заполняются только открытые (и то не все) поры, а стенки крупных пор только смачиваются водой. Поэтому водопоглощение по объёму всегда меньше пористости  $\alpha$ , следовательно, и меньше 100%. Водопоглощение плотных материалов (сталь, стекло, битум) равно нулю.

Степень заполнения объёма пор водой характеризуется **коэффициентом насыщения**, т.е. отношением водопоглощения по объёму к пористости материала:

$$K_{нас} = \frac{W_{об}}{\Pi}$$

Если учесть, что водопоглощение по объёму всегда меньше пористости, то всегда  $K_{нас} < 1,0$ .

Насыщение материалов водой отрицательно влияет на их основные свойства:

- увеличиваются плотность материала, его теплопроводность, линейные размеры и объём;
- понижаются прочность, водостойкость, морозостойкость.

По величине коэффициента насыщения можно косвенно оценить морозостойкость материала. Чем меньше значение коэффициента насыщения, тем выше его морозостойкость. Материалы считаются морозостойкими при  $K_{нас} < 0,8$ .

**Влажность.** В реальных условиях эксплуатации строительных конструкций материал может содержать некоторое количество влаги, полученной при кратковременном увлажнении или гигроскопичности. В этом случае состояние материала характеризуют влажностью. Следовательно, *влажность* (влагосодержание) – содержание влаги в материале в данных условиях, отнесённое к массе материала в сухом состоянии. Влажность материала выражают в процентах и вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_в - m_c}{m_c} \cdot 100\% ,$$

где  $m_в$  – масса влажного образца, г;  $m_c$  – масса сухого образца, г.

Теоретически влажность строительных материалов может изменяться от нуля, когда материал находится в абсолютно сухом состоянии, до величины, соответствующей полному водопоглощению материала по массе. Однако численное значение влажности, как правило, всегда будет меньше водопоглощения по массе. В естественных же условиях эксплуатации материалы в сооружениях находятся преимущественно в воздушно-сухом состоянии, т.е. при установлении равновесия между влажностью материала и окружающего его воздуха. При этом различают фактическую, нормальную (равновесную) и нормированную влажность.

Влажность нормируется для изделий, используемых в ограждающих конструкциях (ГОСТ 13015). Например, влажность легкого бетона в ограждающих конструкциях не должна превышать 13 % для жилых и 15 % – для производственных зданий, воздушно-сухой древесины – 12...18 %, молотого мела – 5...7 %.

Влага в материалах может находиться в различных агрегатных состояниях и иметь различные формы связи с материалом. Различают влагу в материалах:

- поверхностную – находящуюся на поверхности материала и в крупных порах;
- капиллярную, которая заполняет капилляры, субкапилляры и мелкие поры материала и удерживается в них капиллярными силами;
- адсорбционную – поглощаемую из воздуха поверхностью частиц строительного материала (зависит от влажности окружающей среды, степени дисперсности материала и адсорбционных свойств);
  - гидратную (кристаллическую), которая входит в состав кристаллов, например в гипсовом камне –  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  (удаление кристаллической влаги приводит к изменению структуры минералов и разрушению кристаллов);
  - затворения, набухания и др.

**Гигроскопичность** – способность материала поглощать (сорбировать) и конденсировать (адсорбировать) водяные пары из воздуха до установления равновесия и удерживать их вследствие капиллярной конденсации, т.е. изменять свою влажность при изменении влажности воздуха. Характеризуется отношением массы поглощённой материалом влаги при относительной влажности воздуха 100% и температуре 20°C к массе сухого материала.

**Примечание – Гигроскопическая влажность** – влажность материала в воздушно-сухом состоянии, т.е. в состоянии равновесия с влажностью и температурой окружающего воздуха.

Гигроскопичность зависит от температуры воздуха; его относительной влажности; вида, количества и размера пор, а также от природы вещества. Материалы с одинаковой пористостью, но имеющие более мелкие поры (а соответственно и большую поверхность), оказываются более гигроскопичными, чем крупнопористые материалы. Для сыпучих материалов гигроскопичность зависит от их дисперсности. Сам же процесс поглощения влаги называется *сорбцией*, а материалы, притягивающие своей поверхностью воду (с острым углом смачивания), называют *гидрофильными* (смачиваемыми). Материалы, отталкивающие воду (с тупым углом смачивания), называют *гидрофобными* (рис. 1.6, 1.14 и 1.15).



Рис. 1.6. Образцы гидрофобной (пропитанной гидрофобными составами) и гидрофильной (не обработанной) поверхности древесины

Гигроскопичность и сорбция отрицательно сказываются на качестве строительных материалов, т.е. вызывают вредные последствия. С увеличением влажности материала увеличивается плотность, теплопроводность, уменьшается прочность и т.д. Цемент, например, при хранении, поглощая влагу, комкуется, теряет активность (прочность). Древесина от влажности разбухает, коробится, трескается и гниёт.

Состояние материала, при котором прекращается увлажнение, называется равновесным, т.е. наступает *равновесное состояние сорбции*. Снизить гигроскопичность материала можно, если покрыть его поверхность гидрофобными (водоотталкивающими) веществами. Например, древесину покрывают водостойкими лаками, красками и т.д.

С гигроскопичностью связано такое понятие как – *капиллярная диффузия* (капиллярное всасывание, капиллярность от лат. *capillaries* – волосяной) – свойство пористо-капиллярных материалов поднимать воду по капиллярам или способность жидкости к течению по узким каналам против сил тяжести. При этом высота подъема воды зависит от размера пор (рис. 1.7). Характеризуется высотой (уровнем) поднятия воды в капиллярах, количеством поглощенной воды, интенсивностью всасывания и др. Если не приняты меры по гидроизоляции, то это может быть поднятие, например, грунтовой воды по открытым капиллярам на значительную высоту. Теоретически

максимальное значение высоты подъема воды в капилляре гидрофильного материала может составлять 15 м при радиусе пор 1 мкм (0,001 мм). Например, кирпич при отсутствии гидроизоляции может вымокнуть на высоту в несколько этажей до самой кровли.

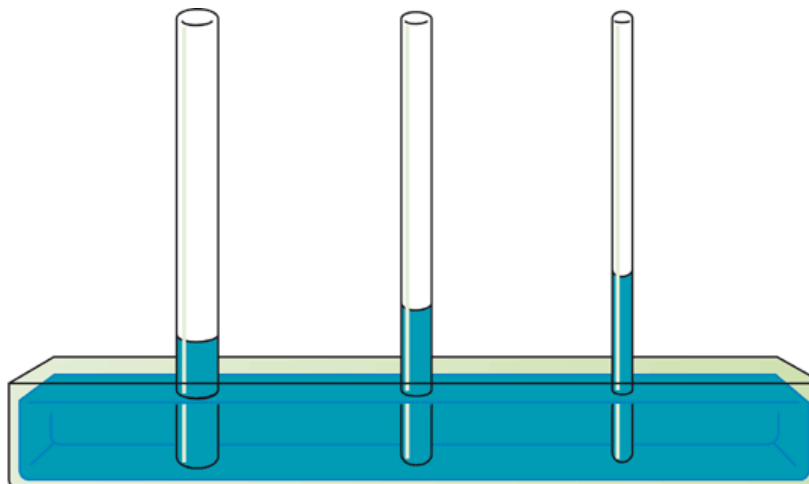


Рис. 1.7. Примерная схема подъема воды в капиллярах в зависимости от размера пор

**Примечание – 1.** *Капиллярная диффузия* имеет место при частичном заполнении капилляров, когда влага сосредотачивается в наиболее узких местах. При *капиллярном всасывании* влага перемещается по капиллярам, заполняя все его пространство. Капиллярная диффузия в материалах неорганического происхождения протекает, как правило, более интенсивно, чем в органических материалах.

**Влагоотдачей** называют свойство материала отдавать влагу окружающей среде при соответствующих условиях (нагрев, движение и изменение влажности воздуха и др.). Характеризуется количеством воды в процентах от массы стандартного образца, теряемом материалом в течение 1 сут. при относительной влажности воздуха 60% и температуре 20°C. Скорость влагоотдачи в значительной степени зависит от разности между влажностью материала и относительной влажностью воздуха. Процесс влагоотдачи или высыхания материала называется *десорбцией*. В естественных условиях эксплуатации зданий и сооружений влагоотдача происходит очень медленно, в течение продолжительного времени.

Вода испаряется до тех пор, пока не установится равновесие между влажностью материала конструкции и влажностью окружающего воздуха, т.е. пока материал не достигнет воздушно-сухого состояния. Такое состояние материала тоже называют *равновесным*, т.е. *равновесное состояние десорбции*. Однако на практике равновесное состояние сорбции, как правило, меньше, чем десорбции (рис. 1.8). Например, древесина, стремясь к равновесной влажности, практически её не достигает и фактическая влажность оказывается несколько большей при высыхании и меньшей – при увлажнении.

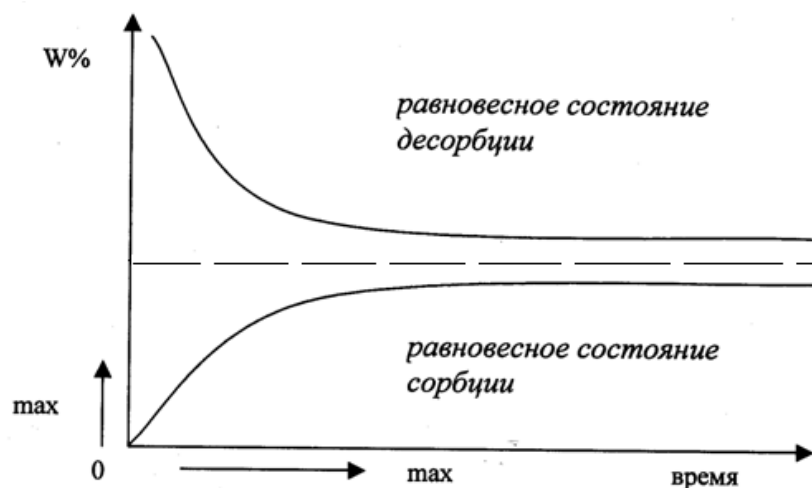


Рис. 1.8. Изотермы сорбции и десорбции

Влагоотдача имеет большое значение для стеновых материалов и изделий (в данном случае – это желанная влагоотдача, нежеланная – высыхание твердеющего бетона). В обычных условиях, благодаря влагоотдаче стены и другие конструкции зданий и сооружений высыхают. По мере высыхания у многих материалов восстанавливаются их свойства – прочность, эластичность, теплопроводность и др.

*Примечание – Увлажнение строительных конструкций может происходить при их изготовлении (строительная влага), атмосферными осадками, конденсатом водяных паров из воздуха, утечкой воды из водопроводно-канализационных сетей и капиллярным и электроосмотическим подсосом грунтовой воды. При этом различные виды увлажнения тесно взаимосвязаны и изменение интенсивности одного из них может существенно повлиять на другие. Например:*

- капиллярный подсос влаги повышает теплопроводность стен;
- вследствие повышенной теплопроводности происходит охлаждение внутренней поверхности;
- охлаждение внутренней поверхности приводит к увеличению количества конденсата.

**Водопроницаемость** – способность материала пропускать воду под давлением. Для одних материалов в зависимости от назначения характеристикой водопроницаемости служит количество воды, прошедшее в единицу времени через  $1 \text{ м}^2$  поверхности материала при заданном давлении, для других (гидроизоляционных) – время контакта с водой, по истечении которого появляются первые признаки просачивания воды через испытываемый образец под определённым давлением и др. (СТБ ЕН 1928). Для некоторых материалов (например, гидротехнических бетонов) в зависимости от назначения оценкой водопроницаемости служит обратная характеристика – **водонепроницаемость**. По водонепроницаемости такие бетоны подразделяются на марки (W2, W4...W20). По СТБ ЕН 12390-8 характеристикой водонепроницаемости служит глубина проникновения воды через образец бетона под давлением.

**Примечание** – Обозначение *W* (лат. «дубль вз», англ. «дабл ю») происходит от англ. *Watertightness* – водонепроницаемость. Численное значение марки выражает максимальное одностороннее гидростатическое давление (кгс/см<sup>2</sup> или атм), при котором стандартный образец не пропускает воду в условиях стандартных испытаний или наименьшее давление, при котором вода начинает проникать через образец (ГОСТ 26633).

Водонепроницаемость (водонепрницаемость) зависит от плотности и строения материала. Чем больше в материале пор и чем эти поры крупнее, тем больше водонепроницаемость материала. К водонепроницаемым материалам относятся особо плотные – сталь, стекло, битум и др. Материалы с замкнутыми мелкими порами тоже практически водонепроницаемы.

**Паропроницаемость** – это свойства материалов пропускать водяной пар через свою толщу при наличии перепада давлений по обе стороны материала или конструкции из этого материала. Зависит от типа материала, его химической природы, структурных характеристик, температурно-влажностных и других параметров. Паропроницаемость является важной характеристикой для стеновых, кровельных (подкровельных), теплоизоляционных материалов и отражает их способность пропускать диффундирующий через себя пар в ту сторону, где его парциальное давление ниже (обычно из теплого помещения в холодное). Особенностью паропроницаемости является то, что в зависимости от температуры пар способен изменять свое агрегатное состояние, т.е. конденсироваться (замерзать), вытесняя газовую фазу, и тем самым изменять свойства структуры. Поэтому для ряда конструкций паропроницаемость, как характеристика структуры, должна рассматриваться в двух аспектах:

- теплофизическом – решение проблемы создания надлежащих тепло-влажностных параметров помещения;
- материаловедческом – защита структуры и конструкции в целом от разрушительного действия конденсата.

Для создания нормального микроклимата в жилом помещении стены должны обладать определенной проницаемостью, т.е. «дышать». В этом случае через наружные стены будет происходить *естественная вентиляция*, что особенно важно для жилых зданий, в которых отсутствует кондиционирование воздуха. Поэтому стены жилых домов, больниц и т.п. не отделывают материалами, задерживающими водяной пар.

И наоборот, стены и покрытия влажных производственных помещений необходимо защищать с внутренней стороны от проникновения водяного пара. Дело в том, что в зимнее время года внутри теплых помещений (дома быта, коровники и т.п.) содержится пара значительно больше, чем снаружи. Поэтому избыточный пар стремится выйти наружу через ограждение. Попадая в холодную часть ограждения, пар конденсируется и резко повышая влажность материала в т.ч. и конструкции. Это создает условия для быстрого разрушения ограждения при замораживании и повышает теплопроводность, т.е. увеличиваются теплопотери, а также приводит к повышению

влажности в помещении и появлению на внутренней поверхности стен плесени и грибков. Кроме того, согласно законам физики, уровень влажности в жилом помещении тоже всегда чуть выше, чем снаружи и образующийся пар стремится выйти наружу.

Следовательно, необходимая степень паропроницаемости (паронепроницаемости) конструкции достигается правильным выбором материалов, их взаимным расположением и решается в каждом конкретном случае индивидуально с использованием современных пароизоляционных материалов. При проектировании и строительстве зданий и сооружений необходимо обеспечивать паронепроницаемость стенового материала от теплой поверхности к холодной и предусматривать установку «барьеров» из пароизоляционных материалов и не допускать попадание пара и влаги в теплоизоляцию.

Паропроницаемость численно равна количеству водяного пара,  $мг$ , проходящего через слой материал или изделия площадью  $1 м^2$ , толщиной  $1 м$  за  $1 час$  при перепаде давления водяного пара между обеими сторонами образца  $1 Па$  и характеризуется коэффициентом паропроницаемости  $\mu$  (мю). Размерность  $мг/(м \cdot ч \cdot Па)$ . Коэффициент паропроницаемости материала является расчетным теплотехническим показателем и определяется как отношение толщины образца материала к сопротивлению паропроницанию, измеренному при установившемся стационарном потоке водяного пара через этот образец (СТБ ISO 7783, ГОСТ 25898, ГОСТ EN 12086).

Различают также *относительную паропроницаемость* – как правило, отношение количества паров влаги (А), испарившихся через испытываемый образец, к количеству паров влаги (В), испарившихся из открытого сосуда, находящихся в тех же условиях испытания

$$\mu = 100 \cdot (A/B)$$

Характеристика обратная проницаемости называется *сопротивлением паропроницаемости R* ( $м^2 \cdot ч \cdot Па/мг$ ) и показывает, какое сопротивление оказывает материал прохождению через него паров влаги, т.е. это характеристика конкретного образца строительного материала определенной толщины. Характеризуется коэффициентом сопротивления паропроницанию  $W_p$ , который равен произведению коэффициента паропроницаемости  $\mu$  на толщину однородного образца материала  $\delta$  (СТБ EN ISO 12572). Размерность –  $кг/(м^2 \cdot с \cdot Па)$ . Характеристиками паропроницаемости материалов являются также скорость паропроницаемости, сравнительный коэффициент паропроницаемости, толщина слоя неподвижного воздуха с эквивалентной скоростью паропроницанию и др. (DIN 5265, СТБ EN ISO 7783 и 12572, СТБ EN 12086, ГОСТ EN 12086). При этом определение характеристик и их терминология в различных источниках зачастую носят весьма противоречивый характер.

**Примечание** – Например, для некоторых материалов под сопротивлением диффузионной паропроницаемости  $\mu$  понимается соотношение между коэффициентами диффузионной паропроницаемости воздуха  $\delta$  и испытываемого материала, численное значение которого показывает во сколько раз сопротивление диффузионной паропроницаемости материала больше, чем эта величина для неподвижного воздуха той же плотности и при такой температуре. Например, значение  $\mu=1$  для минеральной ваты означает, что она проводит водяной пар также как и воздух. А значение  $\mu=10$  для гипсокартона означает, что он проводит пар в 10 раз хуже воздуха.

## 5. Теплофизические свойства

**Теплопроводность** – это способность материала проводить тепло через свою толщину при наличии разности температур на противоположных поверхностях и обуславливает выравнивание температуры материала. Если обе поверхности или системы имеют одинаковые температуры, то они находятся в тепловом равновесии, и какой-либо теплообмен между ними не происходит. При наличии же разности температур происходит передача тепла из системы с более высокой температурой в систему с более низкой температурой до тех пор, пока не установится тепловое равновесие (рис. 1.9).

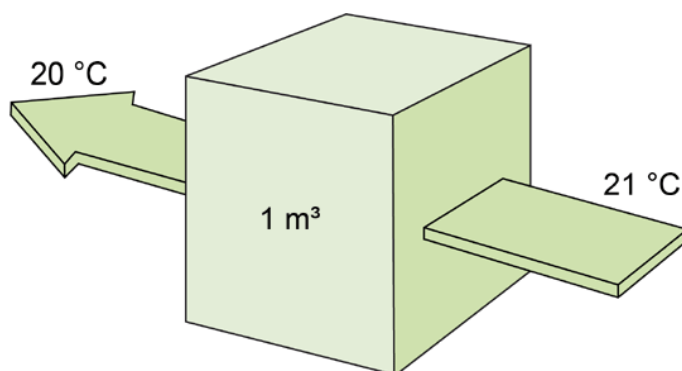


Рис. 1.9. Схема передачи тепла при разности температур

Происходит такой теплообмен, когда молекулы приводятся в возбужденное состояние тепловой энергией, поступающей от источника с одной из сторон материала. Эти молекулы передают энергию (тепло) холодной стороне материала. Поэтому теплопроводность осуществляется в условиях тесного соприкосновения между отдельными мельчайшими частицами материала (атомами, ионами, электронами, молекулами) и неравенства температур в отдельных точках, т.е. между неподвижными частицами твердого, жидкого или газообразного вещества. Однако в чистом виде теплопроводность встречается, как правило, только в твердых телах, так как в жидких и газообразных средах практически невозможно обеспечить неподвижность вещества.

Хорошим проводником тепла является металл, средним – дерево и плохим – воздух. Если при строительстве зданий применять материалы, хорошо проводящие тепло, то потери тепла и, следовательно, расходуемая энергия будут велики.

Теплопроводность характеризуется *коэффициентом теплопроводности*  $\lambda$  [Вт/(м • К)] выражающим количество теплоты (тепловой энергии)  $Q$  (Дж), которое проходит в течение  $Z = 1$  сек., через материал толщиной  $\alpha = 1$  м и площадью  $A = 1$  м<sup>2</sup> при разности температур по обе стороны  $t_1 - t_2 = 1$  К

$$\lambda = \frac{Q \cdot \alpha}{A (t_1 - t_2) Z}$$

*Примечание – 1 ватт (Вт) в данном случае определяется как мощность тепловой энергии, при которой за 1 секунду времени совершается работа в 1 джоуль (Вт = Дж/с).*

Чем меньше коэффициент теплопроводности, тем меньше потери тепла при одной и той же толщине материала и одинаковых климатических условиях.

Коэффициент теплопроводности материалов зависит от многих факторов, в т.ч. от атомно-молекулярного строения вещества, но во всех случаях он во много раз превышает теплопроводность воздуха. Условный ряд веществ по мере возрастания их теплопроводности можно представить в следующем виде: газы [в пределах значений от 0,02 до 0,6 (воздух – 0,024)], полимеры (полистирол – 0,084; полиэтилен – 0,34); жидкости [в пределах от 0,07 до 0,7 (вода – 0,58; лёд – 2,32)], стекла (силикатное – 0,75), кристаллы (кварц – 7...8, корунд – 30, графит – 180) и металлы (железо – 73,2; алюминий – 230; серебро – 425 Вт/(м • К)), т.е. теплопроводность воздуха почти в 18 тыс. раз ниже, чем у серебра. Самая высокая теплопроводность у графена (разновидность, модификации углерода) – 3...5 тыс. Вт/(м • К).

Теплопроводность материалов уменьшается с увеличением их пористости. У пористых материалов тепловой поток проходит через их массу и поры, наполненные воздухом. Следовательно, теплопроводность пористых материалов имеет промежуточное значение между значениями теплопроводности их веществ и воздуха. Чем больше пористость, тем ниже теплопроводность и наоборот. Например, теплопроводность тяжёлого бетона – 1,2...1,5; лёгкого бетона на пористых заполнителях – 0,3...0,7; пено- и газобетона – 0,2...0,4; древесины – 0,16...0,30; пенопласта – 0,04...0,06 Вт/(м • К). Однако при прочих равных условиях наименьшей теплопроводностью будет обладать материал, поры у которого мелкие, равномерно распределённые по всему объёму и замкнутые.

*Примечание – 1. Вместе с тем наличие открытых пор в гидрофильных материалах приводит к повышению теплопроводности.*

*2. Так как средняя плотность материала, так же как и теплопроводность, обратно пропорциональна пористости, то она может служить косвенной характеристикой теплопроводности материала и использоваться в качестве марки материала по теплопроводности.*

С увеличением влажности материалов их теплопроводность увеличивается, потому что при увлажнении происходит вытеснение сухого воздуха из пор материала и замещение его водой или влажным воздухом, теплопроводность которых значительно выше. Наглядно это можно проследить на примере материала, поры у которого могут быть заполнены воздухом, водой или льдом: теплопроводность воздуха – 0,024, воды – 0,58, а льда – 2,32 Вт/(м • К). Во втором случае теплопроводность увеличивается в 25 раз, а в третьем – в 100 раз. Либо на примере керамического полнотелого кирпича в сухом, в условиях равновесной влажности и во влажном состоянии. Теплопроводность такого кирпича соответственно будет составлять – 0,56; 0,7 и 0,81 Вт/(м • К).

Знать теплопроводность необходимо при теплотехнических расчётах стен, перекрытий, тепловой изоляции трубопроводов. Чем меньше теплопроводность материала, тем меньше толщина ограждения, а, следовательно, меньше затрачивается материала на единицу его площади. Теплопроводность является также определяющей характеристикой качества теплоизоляционных материалов, у которых теплопроводность должна быть не более 0,175 Вт/(м • К). В большинстве случаев коэффициент теплопроводности теплоизоляционных материалов определяется опытным путем (рис. 1.10) [СТБ 1618, СТБ EN 12667 12 939, ГОСТ 7076].



Рис. 1.10. Мобильные измерители теплопроводности

В справочно-технической литературе величина теплопроводности приводится обычно в сухом состоянии при температуре и влажности в соответствии с нормативными документами и служит сравнительной характеристикой при оценке теплозащитных свойств различных материалов. Причем, согласно требованиям европейских стандартов использование показателя теплопроводности предполагается с обеспеченностью 90/90 (90 % -ный доверительный интервал с уровнем вероятности 90 %). Это означает, что заявленное значение показателя теплопроводности изделий теплоизоляции зданий  $\lambda$  принимается из условия, что 90 % результатов измерений этого показателя находятся в пределах 90 % от его заявленного значения (СТБ EN 12667, 12939

и 6946). Кроме того, в ряде случаев  $\lambda$  определяется не в Вт/(м · К), а для упрощения восприятия в мили Вт/(м · К). Например, индекс 37 на упаковке или сопроводительном документе на материал показывает, что теплопроводность составляет 0.037 Вт/(м · К), а 40 – соответственно 0.040 Вт/(м · К).

Поскольку абсолютное большинство теплоизоляционных материалов и изделий имеют пористое либо комбинированное строение, что не позволяет рассматривать их структуру как сплошную среду, то в практических условиях (в конструкциях зданий и сооружений) процесс передачи теплоты от теплой среды к холодной через разделяющее их ограждение происходит всеми видами теплообмена: на поверхностях имеет место конвективный и лучистый теплообмен, а в материальных слоях – теплопроводность. Такой сложный процесс называется теплопередачей. Следовательно, коэффициент теплопроводности пористых и комбинированных материалов – величина условная и характеризует перенос теплоты как теплопроводностью, так конвекцией и тепловым излучением через заполненные газом поры, пустоты и полости в материалах и конструкциях (например, в стеклопакетах) [рис. 1.11].

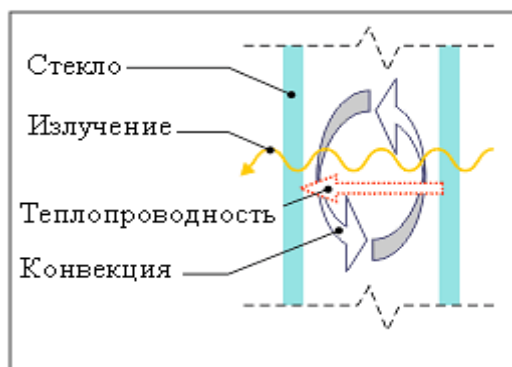


Рис. 1.11. Теплопередача через конструкцию стеклопакета

*Примечание – Конвекция характерна для газообразных и жидких веществ, т.е. «подвижных систем», где перенос тепла происходит в результате движения молекул и перемещения более нагретых частей среды вверх и опускания более холодных. Это вызвано тем, что повышение температуры воздуха (газа) при нагревании ведет к уменьшению его плотности и соответственно перемещению вверх, а охлажденный воздух занимает освободившееся пространство в нижней части среды.*

*Тепловое излучение или лучистый теплообмен представляет собой процесс передачи тепла с поверхности на поверхность через лучепрозрачную среду электромагнитными волнами, трансформирующимися в теплоту, т.е. передача тепловой энергии электромагнитными волнами. Например, излучаемая энергия Солнца, нагревает атмосферу и поверхность земли или нагретая поверхность радиатора излучает тепло и обогревает помещение. Лучепрозрачной средой, пропускающей тепловые волны, в данном случае является воздух.*

**Термическое сопротивление**, сопротивление теплопередаче  $R$  (м<sup>2</sup>·К)/Вт) является величиной обратной теплопроводности и характеризует способность материала или конструкции (например, наружной стеновой панели) препятствовать распространению теплового потока или теплового движения молекул, т.е. характеризует теплозащитные свойства материала или конструкции (СТБ ЕН ИСО 10456, СТБ ИСО 5946 и СТБ ЕН

13162). Определяется термическое сопротивление отношением толщины слоя ограждения ( $a$ ) к теплопроводности материала ( $\lambda$ ).

$$R = \frac{a}{\lambda}$$

Термическое сопротивление – величина нормируемая в каждом регионе (в зависимости от температурной зоны эксплуатации) и характеризует все типы ограждающих конструкций с точки зрения их теплозащитных свойств. В настоящее время в Республике Беларусь термическое сопротивление принято: для наружных стен 3,2 ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )/Вт, совмещённых покрытий и чердачных перекрытий – 6,0 ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )/Вт, световых проёмов – 1,0 ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )/Вт. Для сравнения нормативные сопротивления теплопередаче для стен жилых зданий в Финляндии – 5.88, Норвегии, Швеции и Великобритании – 5.56, Германии – 3.57 и Бельгии – 2.0 ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ )/Вт.

От нормативного значения термического сопротивления зависит толщина наружных стен и расход топлива на отопление зданий. Чем выше этот показатель, тем лучше ограждение по характеристикам сохранения тепловой энергии, т.е. тем лучше его теплозащитные свойства.

*Примечание – По СТБ ЕН ИСО 7345 термическое сопротивление является расчетным значением, определяемым разностью температур на противоположных поверхностях, к плотности теплового потока ( $q$ ), проходящего через слой материала в стационарных условиях*

$$R = (T_1 - T_2)/q$$

*В плоских слоях материала, где теплопроводность не зависит от температуры, термическое сопротивление определяется по вышеприведенной формуле  $R = a/\lambda$ .*

**Теплоёмкость** ( $C$ ) – свойство материала поглощать и аккумулировать тепло при нагревании ( $\text{Дж}/\text{К}$ ). Оценивается *удельной теплоёмкостью* ( $c$ ) или *коэффициентом теплоёмкости* в  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ , т.е. это количество тепла, необходимого для нагревания 1 кг материала на 1 К (ГОСТ 23250, СТБ EN ISO 7345 и 10456).

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

где  $Q$  – количество тепла, Дж;  $m$  – масса материала, кг;  $(t_1 - t_2)$  – разность температур при нагревании, К.

*Примечание – Например, если вода имеет удельную теплоемкость 4,19 кДж/(кг·К), то для повышения температуры 1 кг воды на 1° К требуется 4,19 кДж.*

Теплоёмкость зависит от химического состава, строения материалов, их температуры и влажности. У подавляющего большинства материалов теплоёмкость находится в пределах 0,1...2,0 кДж/(кг·К): сталь – 0.48, гранит – 0.65, кирпич и оконное

стекло – 0.84, бетон – 1.13, пенополистирол – 1.34, древесина – 1.38 кДж/(кг·К). Таким образом, органические материалы имеют большие значения удельной теплоёмкости, чем неорганические. Наибольшей же теплоёмкостью обладает вода – 4.19 кДж/(кг·К). Только водород (14,3) и аммиак (35,6) обладают большей удельной теплоёмкостью, чем вода. Поэтому с увлажнением материалов их теплоёмкость возрастает, но при этом возрастает и теплопроводность.

Материалы, обладающие высокой теплоёмкостью способны выделять больше тепла при последующем их охлаждении. Как видно из примера, деревянные конструкции способны в несколько раз больше аккумулировать тепла, чем каменные, и поэтому могут постепенно отдавать это тепло, например, внутрь помещений. Учитывается теплоемкость при расчёте теплоустойчивости ограждающих конструкций, затрат на топливо и энергию при обогреве материалов и конструкций, подогреве составляющих бетона и раствора при зимних работах, а также при расчете нагревательных и термических печей.

**Тепловое расширение** (сжатие) – способность материалов изменять в процессе нагревания или охлаждения свои размеры и форму при постоянном давлении – расширяться при нагревании и сжиматься при охлаждении. В основе теплового расширения лежит несимметричность тепловых колебаний атомов, поэтому при повышении температуры увеличиваются средние межатомные расстояния и объем материала увеличивается. Зависит тепловое расширение от химических связей, типа структуры кристаллической решетки, ее анизотропии и пористости материала. Характеристиками теплового расширения являются коэффициенты линейного или объёмного расширения. В строительстве чаще всего используют коэффициент линейного теплового (температурного) расширения (КЛТР).

**Коэффициент линейного теплового расширения  $\alpha$**  характеризует изменение линейного размера (длины) при изменении температуры на один градус, т.е. это относительное приращение длины образца, вызванное повышением его температуры на один градус [ГОСТ 32618.2 (ISO 11359-2)]. Размерность –  $10^{-6} \text{ K}^{-1} (\text{°C}^{-1})$ . С повышением температуры коэффициент линейного расширения возрастает. Значения коэффициентов линейного теплового расширения некоторых материалов в интервале температур 15...200 °С приведены в табл. 1.2.

*Примечание – 1. Размерность КЛТР – величина, обратная размерности температуры и выражается в град.<sup>-1</sup> или 1/°С. В системе СИ выражается в кельвинах в минус первой степени. К<sup>-1</sup> равен температурному коэффициенту относительного изменения физической величины, при котором изменение температуры на 1 К от принятой за начальную вызывает относительное изменение этой величины, равное единице.*

*2. Характеристиками могут быть также дифференциальный и средний коэффициенты линейного теплового расширения.*



*температурой затвердевания.* Материалы кристаллического строения имеют строго определенную температуру плавления, аморфные – не плавятся, а постепенно размягчаются, превращаясь в очень вязкую жидкость. Чем выше температура, тем меньше их вязкость, тем более подвижна жидкость.

Чистые металлы плавятся при определённых температурах, а большинство сплавов – в интервале температур, т. е. имеют начало и конец плавления. При этом температура плавления сплава, как правило, ниже температуры плавления самого лёгкого его компонента, а температура затвердевания – понижается с увеличением концентрации растворенного вещества. Например, сталь, содержащая 0,5% углерода, имеет температуру плавления порядка 1450°C, а содержащая 2,14% углерода – 1147°C. На практике за температуру плавления сплавов принимается *температура начала плавления.*

*Примечание – В зависимости от температуры плавления металлы подразделяются:*

- *на легкоплавкие – температура плавления до 1539 °С (олово – 232 °С, свинец – 328 °С, цинк – 419,5 °С, алюминий – 660 °С и др. Самая низкая температура плавления у ртути – -38,87 °С);*
- *тугоплавкие – температура плавления выше 1539 °С (титан – 1680 °С, хром – 1890 °С, тантал – 2950 °С, вольфрам – 3420 °С и др.).*

Температура плавления имеет большое значение при выборе металлов для изготовления литых изделий, сварных и паяных соединений, термоэлектрических приборов и других изделий.

## **6. Акустические свойства**

Акустические свойства (от греч. *akustikos* – слуховой) связаны с взаимодействием материала и звука. Звук (звуковые волны) – это механические колебания, распространяющиеся в твёрдых, жидких и газообразных средах. Падающая на поверхность строительной конструкции звуковая волна частично отражается от неё, частично поглощается материалом поверхности, а частично проникает сквозь поверхность наружу или в соседнее помещение (рис. 1.12).

Акустическими свойствами, характеризующими способность материала проводить, отражать или поглощать падающий на него звук, являются звукопроводность, звукопоглощение, звукоизоляция и др. Следовательно, **звукопроводность** – способность материала проводить звук сквозь свою толщу, **звукопоглощение** – способность материала поглощать и отражать падающий на него звук, а **звукоизоляция** – степень ослабления звука при его проникновении через слой материала.

Отношение интенсивности звука, прошедшего через ограждение, к интенсивности падающего звука, называется коэффициентом звукопроводности. Величина обратная

коэффициенту звукопроводности называется звукоизоляцией и характеризует процесс отражения и поглощения звука.

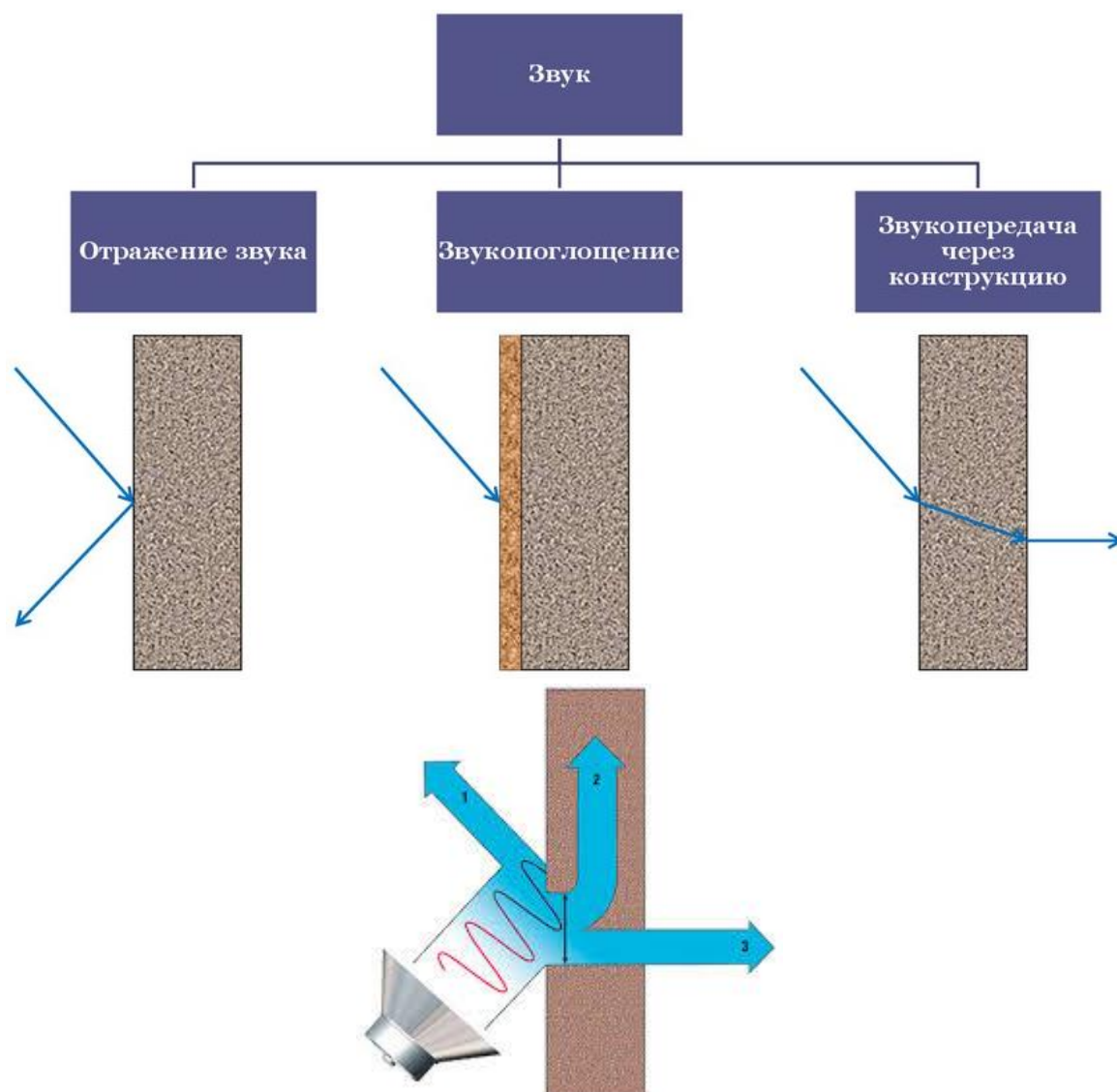


Рис. 1.12. Схема воздействия звуковых волн на материал ограждения: 1 – отраженная энергия; 2 – поглотившаяся энергия; 3 – звуковая энергия, прошедшая через толщу материала

*Звукопроводность* материала зависит от его массы и строения. Чем больше масса материала, тем больше звуковой энергии затрачивается, чтобы пройти через него, и тем меньше он проводит звук. Пористые и волокнистые материалы плохо проводят ударный звук, потому что звуковая энергия поглощается и рассеивается развитой поверхностью материала и переходит в тепловую энергию.

Физический процесс перехода звуковой энергии в тепловую называется звукопоглощением. Мерой его измерения является коэффициент звукопоглощения, т.е. отношение звуковой энергии, поглощенной материалом (не отраженной от поверхности), к общему количеству падающей энергии в единицу времени (СП 51.13330.2011 и СНиП 23-03-2003). За единицу звукопоглощения условно принимается звукопоглощение 1 м<sup>2</sup> открытого окна. Коэффициент звукопоглощения может

изменяться в пределах от 0 до 1. При полном звукопоглощении коэффициент равен единице. Звукопоглощение всех строительных материалов меньше единицы. К звукопоглощающим относят материалы с коэффициентом звукопоглощения не менее 0,4 при частоте 1000 Гц.

*Примечание – По ГОСТ 23499 к звукопоглощающим относят материалы, имеющие сквозную пористость и характеризующиеся относительно высоким коэффициентом звукопоглощения ( $\alpha > 0,2$ ).*

*Звукопоглощение* зависит от степени и характера пористости материала, а также состояния его поверхности. Чем больше пористость и больше пор, сообщающихся между собой и выходящих на поверхность материала, тем выше коэффициент звукопоглощения. Для усиления звукопоглощения поверхность материалов строительных конструкций (ограждений) дополнительно перфорируют или придают им рельефный характер. Гладкие же поверхности отражают большую часть падающего на них звука (эффект зеркала). Поэтому в помещениях с гладкими стенами из-за многократного отражения от них звука создается постоянный шум, т.н. – «эхо». Если же поверхность материала имеет открытую пористость, то звуковые колебания, входя в поры, не отражаются, а поглощаются материалом. Способность материала отражать звук является важной характеристикой в первую очередь для наружных ограждающих конструкций, а для внутренних стен первостепенной является способность поглощения звука.

*Звукоизоляционные* материалы и изделия защищают от распространения и проникновения ударного (структурного – распространяющегося внутри строительной конструкции), воздушного (громкая музыка, лай собак), акустического и другого звука (шума). Свойства таких материалов тесно связаны с их упругими деформациями: способностью уплотняться и восстанавливать первоначальные размеры при постоянной и переменной нагрузках. Поэтому характеристиками, определяющими эффективность звукоизоляции материалов в конструкции, являются динамический модуль упругости, динамическая жесткость, плотность, удельное сопротивление потоку воздуха и др. Такие материалы обладают, как правило, небольшим модулем упругости (не более 10 МПа), обуславливающим малую скорость распространения звука. Так, например, скорость распространения звуковых волн (м/с) в стали составляет 5050, железобетоне – 4100, древесине – 1500, пробке – 50, поризованной резине – 30 м/с.

Кроме того, звукоизоляционная способность материалов пропорциональна их логарифму массы. Поэтому массивные конструкции обладают большей звукоизоляционной способностью от воздушного шума, чем легкие.

## 7. Эстетические свойства

Эстетические (архитектурно-художественные) свойства строительных материалов способствуют правильному выявлению объемно-пространственной структуры и композиции зданий и сооружений. Они влияют также на восприятие среды жизнедеятельности человека, в том числе внешнего вида зданий, сооружений и их интерьеров. К ним относятся *форма, цвет, фактура, рисунок, текстура* и др.

**Форма** материала или изделия воспринимается визуально через лицевую поверхность и определяется ее геометрией (кубическая, цилиндрическая, квадратная, прямоугольная, многогранная) и пропорциями (соотношениями) основных размеров, т.е. представляет собой внешнее очертание, наружный вид и контуры материала или изделия. Она непосредственно влияет на своеобразие фасада или интерьера здания и является важной эстетической характеристикой для таких строительных материалов и изделий как стеклоблоки, стекло профильное, кирпич, черепица, паркет, столярные и профильно-погонажные изделия (плинтусы, наличники, поручни и т.п.), санитарно-технические изделия, рельефные облицовочные материалы и др.

**Цвет** – свойство света вызывать определённое зрительное ощущение в результате воздействия на сетчатку глаза человека электромагнитных колебаний, отражённых от лицевой поверхности, и является субъективным восприятием. Обусловлен следующими факторами – окраской, свойствами поверхности, оптическими свойствами источника света и среды, через которую распространяется, индивидуальными особенностями наблюдателя и др. Человек по-разному будет воспринимать один и тот же цвет при разном освещении. Известно, например, что цвет одних и тех же обоев по-разному воспринимается днем и при искусственном освещении вечером.

Качественными характеристиками цвета являются:

- *цветовая тональность* – определяется длиной волны чистого спектрального цвета;
- *насыщенность* – характеризуется степенью разбавления спектрального цвета белым и изменяется от 100% до нуля;
- *светлота* – определяется коэффициентом отражения, который для белых поверхностей близок к единице, а для черных – приближается к нулю.

Все цвета строительных материалов и изделий можно разделить на две группы: хроматические и ахроматические. Хроматические делятся на тёплые и холодные. К тёплым относятся красный, оранжевый, жёлтый, к холодным – зелёный, синий, голубой, фиолетовый со всеми оттенками. Ахроматические цвета – белый, чёрный и серый, тоже со всеми оттенками. Глаз человека способен различать десятки тысяч хроматических цветов и оттенков, и до трёхсот ахроматических цветов. По яркости различают тона интенсивный и неинтенсивный.

**П р и м е ч а н и е** – Эстетические свойства материалов необходимо оценивать также сочетанием цветов или их расположением. Цвета, расположенные рядом, как правило, влияют друг на друга и воспринимаются в зависимости от цветового окружения. Например, светлый цвет рядом с темным кажется светлее, а красный, находясь рядом с зеленым – кажется насыщеннее.

**Фактура** (от лат. *factura* — обработка, строение) – это характер поверхности материала или своеобразное строение материала, видимое на его поверхности. Характеризуется степенью неровности (рельефом) или гладкости поверхности и блеском. Фактура ощущается зрительно и осязательно, например, кожа человека передаётся в скульптуре (фреске) более гладкой, чем волосы. Восприятие фактуры зависит от особенностей натуры, от освещения и во многом индивидуально отличается от текстуры той же поверхности.

По степени рельефа материалы могут быть *гладкие* (от зеркально-блестящих до шереховато-ровных), *шереховатые* (высота рельефа до 5 мм) и *рельефные* (высота рельефа более 5 мм). По степени блеска различают материалы с *блестящей* и *матовой* фактурой. В современной отделке зданий предпочтение отдаётся, как правило, матовым фактурам, так как блестящие могут исказить восприятие интерьера. Различают также фактуру:

- организованную – с повторяющимся равномерным, часто геометрическим рисунком рельефа;
- неорганизованную – с неравномерным, хаотическим рисунком.

При выборе фактуры учитывается комплекс факторов, в том числе и цвет материала. Фактура более восприимчива на светлой поверхности. Для достижения более сложной фактуры используют коллаж, оттиски тканей, листьев деревьев, трав и др. Фактуру поверхности материала можно определить инструментальным или визуальным методами.

**Рисунок** – материальное изображение на лицевой поверхности изделий каких-либо предметов, явлений, совокупности графических элементов, а также особое строение твёрдых веществ, обусловленное характером расположения его составных частей. В живописи рисунок это вид графики и основа всех видов изобразительного искусства. Он может быть также подготовительным этапом при создании фресок, мозаик, витражей.

Если рисунок создан самой природой, то его принято называть *текстурой* (рис. 1.13). Например, у древесины, природного камня и др. Рисунок, текстура, как и другие эстетические характеристики материалов, влияют на своеобразие наружной и внутренней отделки зданий и сооружений.

**Примечание** – В нормативных документах на различные строительные материалы и изделия может быть приведена и иная интерпретация указанных терминов. Например, в ГОСТ 30629 на облицовочные материалы и изделия из горных пород приводятся следующие определения:

- **декоративность** горной породы – совокупность художественно-эстетических свойств поверхности, оцениваемая по показателям полируемости, цвета, рисунка и структуры;

- **текстура** – совокупность признаков строения, обусловленная ориентацией, относительным расположением и распределением составных частей породы;

- **структура** – совокупность признаков, связанных с формой, строением и размерами минеральных зерен, степенью их кристалличности и взаимным расположением;

- **рисунок** – совокупная характеристика, оцениваемая характером текстуры и структуры, расположением, конфигурацией и сочетанием различных цветов и оттенков, наличием прожилок и включений;

- **фактура** – показатель, определяемый характером и высотой рельефа поверхности.

а)



б)



Рис. 1.13 Текстура и рисунок строения древесины: а) текстура древесины паркетной доски, б) рисунок под дерево ламината

## 8. Химические свойства

Химические свойства материалов характеризуются их способностью к химическим превращениям под влиянием веществ (воздействий), с которыми они находятся в соприкосновении, а также способностью сохранять постоянными состав и структуру в условиях инертной окружающей среды. Некоторые материалы склонны к самопроизвольным внутренним химическим изменениям в обычной среде. Ряд материалов проявляет активность при взаимодействии с кислотами, водой, щелочами, растворами солей, агрессивными газами и т.д. Химические превращения протекают также во время технологических процессов производства и применения материалов.

**Химическая активность** материалов (веществ) характеризуется их способностью участвовать в химических реакциях с образованием новых соединений. Характеристикой химической активности может быть как разнообразие возможных реакций, так и их скорость.

Химическая активность строительных материалов зависит от состава, строения (активности составляющих их молекул) и тонкости измельчения. Химические процессы протекают чаще всего при непосредственном контакте веществ друг с другом (с поверхности) или при растворении (растворение тоже происходит с поверхности). Следовательно, чем больше поверхность вещества, тем оно активнее в химическом отношении.

Проявление химической активности сопровождается, как правило, образованием новых веществ, упрочнением материалов (твердение цементного камня, силикатных материалов) или их разрушением (коррозия металлов, бетонов). Следовательно, химическая активность может быть положительной и отрицательной.

**Дисперсность** (от лат. *dispersus* – рассеянный, рассыпанный) означает рассеянность, раздробленность вещества и характеризует размер твёрдых частиц и капель жидкости. Понятие дисперсности простирается на широкую область размеров – от больших, чем простые молекулы, до видимых невооружённым глазом, т. е. от  $10^{-7}$  до  $10^{-2}$  см.

По мере роста дисперсности (измельчении твёрдого тела) увеличивается его суммарная или *удельная поверхность* при неизменном суммарном объёме и массе. При этом количественные изменения приводят к возникновению нового качества, поскольку дисперсные частицы обладают более интенсивной окраской, большей прочностью, твёрдостью и активностью, чем крупные частицы того же вещества. Например, увеличение тонкости помола цемента на 1 тыс. см<sup>2</sup> увеличивает его прочность (активность) примерно на 10 МПа.

С физико-химической точки зрения важнейшим следствием увеличения дисперсности является возрастание удельной реакционной способности твёрдых тел, называемой часто *химической активностью*. Подтверждением этому служит известный факт, согласно которому многие вещества, практически не растворимые, заметно растворяются в дисперсном состоянии.

Многие строительные материалы (глины, гипсовые вяжущие, цемент, пигменты) находятся в тонкоизмельчённом (дисперсном) состоянии и обладают большой суммарной поверхностью частиц. Величина, характеризующая степень раздробленности материала и развитости его поверхности, называется *удельной поверхностью*. При этом физико-химические свойства поверхностного слоя дисперсных частиц сильно отличаются от свойств этого же вещества в массе. Причина в том, что атомы (молекулы) вещества, находящиеся внутри материала, уравновешены действием окружающих атомов (молекул), в то время как атомы (молекулы) на поверхности вещества находятся в неуравновешенном состоянии и обладают особым запасом энергии. С увеличением же удельной поверхности вещества возрастает его химическая активность. Например, цемент с удельной поверхностью 3000...3500 см<sup>2</sup>/г через 1 сут. твердения связывает 10...13% воды, а с удельной поверхностью 4500...5000 см<sup>2</sup>/г – около 18%.

*Примечание – Удельная поверхность – это суммарная поверхность всех частиц единицы массы вещества (материала).*

**Растворимость** – способность вещества в смеси с одним или несколькими другими веществами образовывать однородные системы (растворы), в которых вещество находится в виде отдельных атомов, ионов, молекул или частиц. Характеризуется концентрацией растворенного вещества в его насыщенном растворе и выражается в процентах, массовых или объёмных единицах. Обычно растворимыми считают вещества, растворимость которых при комнатной температуре превышает 1 г на 100 г воды. Растворимость зависит от химического состава вещества, температуры и давления.

*Примечание – Например, в одном литре воды при  $t=18\text{ }^{\circ}\text{C}$  может раствориться 2 г природного гипса, 10 г гипсового вяжущего и 1,3 г извести.*

**Кристаллизация** – способность веществ (материалов) образовывать кристаллы при переходе из одного физического состояния (жидкого) в другое (твёрдое). Кристаллизация начинается, как правило, при достижении некоторого предельного состояния, например, переохлаждения жидкости или перенасыщения раствора и состоит из зарождения мелких кристалликов – центров кристаллизации и их роста.

Возникающие при этом кристаллы срастаются между собой и образуют твердое вещество (материал).

**Гидрофильность** (от греч. «*hydor*» и «*phileo*» – любящий воду) и **гидрофобность** (от греч. «*hydor*» и «*phobos*» – боящийся воды) являются характеристиками интенсивности молекулярного взаимодействия поверхности веществ (материалов) с водой, т.е. способности их смачиваться водой. Гидрофильность и гидрофобность можно оценить по растеканию капли воды на гладкой поверхности тела. На гидрофильной поверхности капля растекается полностью, а на гидрофобной – лишь частично, причём величина краевого угла между поверхностями капли и смачиваемого тела зависит от того, насколько данное тело гидрофобное (рис. 1.14 и 1.15). Для гидрофильных материалов краевой угол острый, для гидрофобных – тупой.

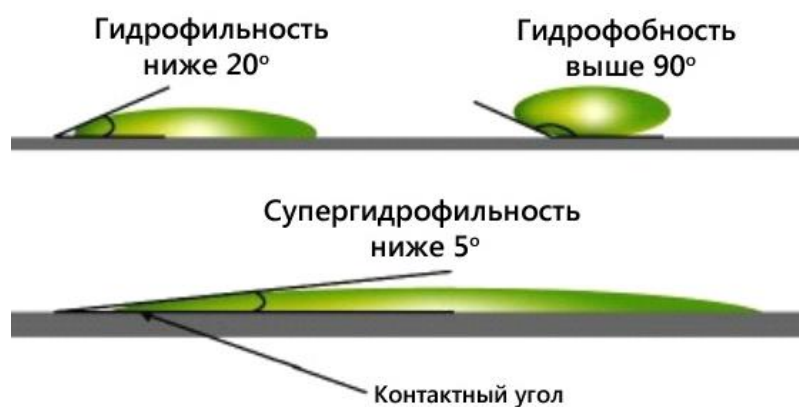


Рис. 1.14 Гидрофильная и гидрофобная поверхность

Гидрофильностью (хорошей смачиваемостью водой) обладают вещества с ионными кристаллическими решётками (карбонаты, силикаты, сульфаты, глины), а также силикатные стекла. Гидрофобностью (плохой смачиваемостью) обладают металлы, лишённые оксидных плёнок, органические соединения с преобладанием углеводородных групп в молекуле (например, парафины, жиры, воски, некоторые пластмассы), графит, сера и вещества со слабым межмолекулярным взаимодействием. Убедительным примером гидрофобной поверхности является оперение водоплавающих птиц – покрытое жиром, оно абсолютно не намокает в воде.



Рис. 1.15 Капли воды на гидрофобной поверхности травы

Для снижения смачиваемости материалов и поглощения ими воды необходимо изменять характер их поверхности, т.е. обрабатывать водоотталкивающими веществами, например, гидрофобизирующей кремнийорганической жидкостью (ГКЖ) и др. Поверхность, обработанная такими веществами (гидрофобизаторами), не поглощает воду и более того вода скатывается с их поверхности – «как с гуся вода».

**Коррозия** – самопроизвольное разрушение материалов, вызываемое химическими и электрохимическими процессами при взаимодействии с внешней средой. В зависимости от вида и характеристик среды, условий протекания процессов различают около 40 видов коррозии. Например, разрушение материалов продуктами жизнедеятельности живых организмов (грибов, микробов, насекомых) называют *биокоррозией*. Изменение структуры и химического состава пластмасс под влиянием внешней среды называют *старением* и др.

## 9. Технологические свойства

Технологические свойства характеризуют способность материалов подвергаться тому или иному виду обработки с целью изменения формы, размеров, характера поверхности, плотности. При этом многие строительные материалы в процессе их изготовления и применения проходят стадию вязко-текучего или пластично-вязкого состояния (цементное и гипсовое тесто, свежеприготовленные растворные и бетонные смеси, лакокрасочные материалы, мастики, суспензии, эмульсии, пластмассы в процессе формования). По своим физическим свойствам такие системы (смеси) занимают промежуточное положение между жидкими и твёрдыми телами, то есть сочетают в себе

свойства жидких и твердых тел. Например, цементное тесто можно легко разрезать ножом (что нельзя сделать с жидкостью), но вместе с тем цементное тесто может принимать и форму сосуда (опалубки), в который оно помещено, т. е. ведёт себя, как жидкость. Вязко-текучие и пластично-вязкие смеси характеризуются в основном реологическими показателями (*реология* от греч. *rheo* – течь).

**Вязкость** – внутреннее трение жидкости, препятствующее перемещению одного её слоя относительно другого. Характеризуется коэффициентом динамической вязкости и измеряется в паскаль-секундах (Па·с). Численное значение этого коэффициента зависит от вещественного состава и температуры. Различают истинную (ньютоновскую) вязкость, которая не зависит от характера прилагаемого усилия или течения, и структурную (неньютоновскую), обладающую внутренней структурой (дисперсии, эмульсии, водно-дисперсионные краски).

Вязкость является одной из основных характеристик органических вяжущих веществ, клеев, масел, лакокрасочных материалов. Например, чем меньше вязкость лакокрасочного состава, тем легче наносить его пульверизатором, но в то же время, чем выше вязкость, тем больше можно его развести.

**Структурная прочность** – это прочность внутренних связей между частицами материала. Её оценивают *предельным напряжением сдвига*, соответствующим напряжению в материале, при котором он начинает течь подобно жидкости. Это происходит тогда, когда в материале нарушаются внутренние связи между его частицами, т. е. разрушается его структура. Свойство терять структурную вязкость и временно превращаться в вязкую жидкость называется *тиксотропией* (от греч. *thixis* – прикосновение и *tropé* – изменение). Это свойство характерно для бетонных и растворных смесей, мастик и лакокрасочных составов. Явление тиксотропии используется при виброуплотнении бетонных смесей и при нанесении мастичных и окрасочных составов шпателем или кистью.

**Адгезия** (от лат. *adhaesio* – прилипание) – свойство одного материала прилипать к поверхности другого, т. е. это связь между приведенными в контакт разнородными поверхностями. Адгезия двух различных материалов зависит от природы материала, формы и состояния поверхности, условий контакта и т. д. Она появляется и развивается в результате сложных поверхностных явлений, возникающих на границе раздела фаз. Характеризуется прочностью сцепления при отрыве одного материала от другого и обуславливает склеивание твёрдых тел с помощью клеящего вещества – *адгезива*.

*Примечание* – *Липкость* (*прилипаемость*) способность материалов (веществ) прилипать друг к другу при соприкосновении.

Численно адгезия определяется как усилие при отрыве, приходящееся на единицу площади поверхности. Отрыв может быть адгезионный (по границе контакта),

когезионный (по слою склеивающихся материалов) и адгезионно-когезионный (смешанный). Адгезия имеет большое значение при получении композиционных материалов и изделий (бетонов разных видов, клееных изделий и конструкций, отделочных материалов).

**Когезия** (от лат. *cohaesus* – связанный, сцепленный) – сцепление частиц одного и того же вещества, обусловленное химическим межмолекулярным воздействием в пределах одной фазы и является характеристикой прочности материала и его способности противостоять внешнему воздействию. Количественной мерой когезии в физическом понимании служит работа удаления взаимно притягивающихся молекул на бесконечно большие расстояния друг от друга. В материаловедении работу когезии характеризуют удельной работой, затрачиваемой на разрушение единицы поверхности твердого тела (материала) при его растяжении (разрыве). Когезия оказывает влияние практически на все физико-механические и химические свойства строительных материалов и отвечает за их целостность, например, цементного камня.

**Время и степень высыхания** материала являются характеристиками лакокрасочных составов. За время высыхания применяют время, за которое слой материала определённой толщины, нанесённый на пластинку, достигает необходимой степени высыхания при заданных условиях сушки.

Степень высыхания характеризует состояние поверхности материала при определённой продолжительности и температуре сушки в стандартных условиях испытания. При этом различают: *высыхание от пыли* – момент, когда на окрашиваемой поверхности образуется тончайшая поверхностная плёнка, *практическое высыхание* – плёнка утрачивает липкость и изделие с лакокрасочным покрытием может подвергаться дальнейшим операциям и *полное высыхание* – окончание формирования плёнки на окрашиваемой поверхности.

Технологические свойства *подвижность, растекаемость, водоудерживающая способность и расслаиваемость*, являющиеся качественными характеристиками бетонных и растворных смесей, будут рассмотрены в лекции 11.

## 10. Механические свойства

Под *механическими свойствами* строительных материалов понимают их способность сопротивляться различного рода деформациям и разрушению (в сочетании с упругим и пластическим поведением) под действием внутренних или внешних сил (нагрузок), т.е. механические свойства характеризуют поведение материалов при действии различного вида нагрузок (сжимающей, растягивающей, изгибающей и т.д.). В зданиях и сооружениях почти все конструкции испытывают или воспринимают внешние нагрузки – от частей зданий, оборудования, мебели, атмосферных осадков и др. В

результате в материалах конструкций возникают напряжения, противодействующие этим силам, что может привести к деформациям и разрушению.

*Примечание – Разрушение – это ослабление между частицами при нарушении сплошности структуры. Различают хрупкое, т.е. мгновенное (без деформации) и пластическое (с деформацией) разрушение материала.*

**Деформации.** При приложении внешней нагрузки в материалах возникают внутренние силы упругости. При этом материалы, находящиеся под нагрузкой, как правило, деформируются, т.е. изменяют свои размеры и форму вследствие изменения взаимного расположения его частиц, приводящее к возникновению напряжений. Наиболее простыми видами деформирования материалов являются: сжатие, растяжение, кручение, срез и изгиб (рис.1.16).

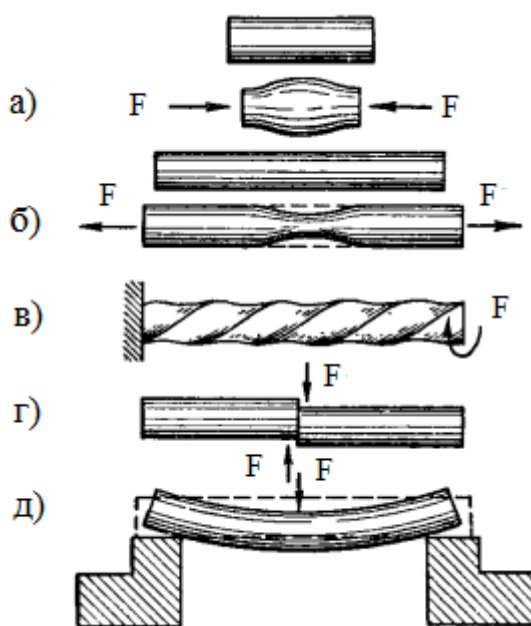


Рис.1.16.Основные виды деформаций: а – сжатие; б – растяжение; в – кручение; г – срез (сдвиг); д – изгиб

*Примечание – Напряжением называют физическую величину, численно равную силе, приходящейся на единицу площади сечения. За единицу измерения напряжения принят паскаль (Па), равный давлению, которое вызывает сила в 1 ньютон (Н), равномерно распределенная по поверхности площади в 1 кв.м.*

Длина деформируемого материала (изделия) при приложении нагрузки изменяется (увеличивается или уменьшается) на величину, называемую *абсолютной деформацией*. Однако удобнее характеризовать деформационные свойства не абсолютной, а *относительной деформацией*, равной отношению абсолютной деформации к первоначальному (до деформирования) размеру изделия.

Строительные материалы по-разному реагируют на снятие нагрузки, проявляя свойства упругости или пластичности. Поэтому различают *упругие* и *пластические*

*деформации*. Если после снятия нагрузки образец восстанавливает свои первоначальные размеры и форму, то деформацию называют *упругой*. Если же он частично или полностью сохраняет изменённые размеры или форму, то такую деформацию называют *пластической*. Следовательно, **упругость** – свойство материала деформироваться и восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после снятия нагрузки, а **пластичность** (от греч. *plasticos* – податливый) – свойство материала изменять свою форму под нагрузкой, без нарушения сплошности структуры (появления трещин) и частично сохранять её после снятия нагрузки. Пластичность определяет возможность обработки материалов давлением (ковка, прокатка).

Упругость материала количественно характеризуется *модулем упругости* (модулем Юнга). Определяется как отношение нормального напряжения к его относительной деформации. Для бетонов модуль упругости (***E***) обычно измеряется при величине не более 0,2 призмной прочности бетона на сжатие:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

где  $\sigma$  – нормальное напряжение, МПа;  $\varepsilon$  – относительная деформация.

Модуль упругости характеризует меру жёсткости материала. Чем больше величина этой характеристики материала, тем меньше деформация при прочих равных условиях. Такие конструкционные материалы как сталь, железобетон отличаются высокими значениями модуля упругости (табл. 1.3).

**Прочность** – свойство материала сопротивляться разрушению и деформациям под действием напряжений, возникающих от внешних нагрузок или других факторов (неравномерная усадка, нагревание и т.п.). Прочность материала обусловлена силами взаимодействия его структурных частиц (атомов, молекул). Количественно оценивается пределом прочности, т.е. *предел прочности* (временное сопротивление) – это напряжение, соответствующее наибольшей (разрушающей) нагрузке в момент разрушения материала к единице площади. *Напряжение* – это равнодействующая внутренних сил, приходящаяся на 1 см<sup>2</sup> поперечного сечения материала.

*Предел прочности* определяют нагружением до разрушения испытываемых образцов материала с помощью гидравлических прессов или разрывных машин (рис.1.17). Испытание проводят на образцах (кубах, цилиндрах, призмах, балочках), форма и размеры которых указаны в стандартах на соответствующий материал.



Рис. 1.17. Пресс для испытания строительных материалов

Строительные материалы в конструкциях подвергаются сжатию, растяжению, кручению, срезу, изгибу. Некоторые материалы хорошо сопротивляются сжатию и значительно хуже – растяжению и изгибу. Например, природные каменные материалы, бетон и др. Поэтому такие материалы используются в конструкциях, работающих преимущественно на сжатие. Металлы и дерево имеют высокую прочность, как на растяжение, так и на сжатие и изгиб. Поэтому их применяют в конструкциях, работающих на изгиб, сжатие и растяжение.

Вместе с тем, разрушение, в физическом понимании, состоит в отделении частичек материала друг от друга. И особенностью поведения под нагрузкой, например, каменных (хрупких) материалов является то, что при сжатии они тоже разрушаются от растягивающих напряжений, возникающих в направлениях, перпендикулярных действию сжимающей нагрузки, т.е. вследствие разрыва материала в поперечном направлении. Разрушение их обусловлено развитием микротрещин отрыва, направленных параллельно действующему усилию. Сначала по всему объёму возникают микроскопические трещины отрыва. С ростом нагрузки микротрещины отрыва соединяются, образуя видимые трещины, направленные параллельно или с небольшим наклоном к направлению действия сжимающих сил. Затем трещины раскрываются, что сопровождается кажущимся увеличением объёма, и наступает полное разрушение.

Наклон трещин разрыва обусловлен силами трения, которые развиваются на контактных поверхностях – между плитами пресса и гранями образцов (кубов, призм). Поэтому после разрушения образцы (кубы) приобретают форму усечённых пирамид,

сложенных вершинами. Если при осевом сжатии образца устранить влияние сил трения смазкой контактных поверхностей, трещины разрыва становятся вертикальными, параллельными действию сжимающей силы, а временное сопротивление уменьшается примерно вдвое (рис.1.18). Однако согласно стандартам, образцы материалов при определении прочности на сжатие испытывают без смазки контактных поверхностей.

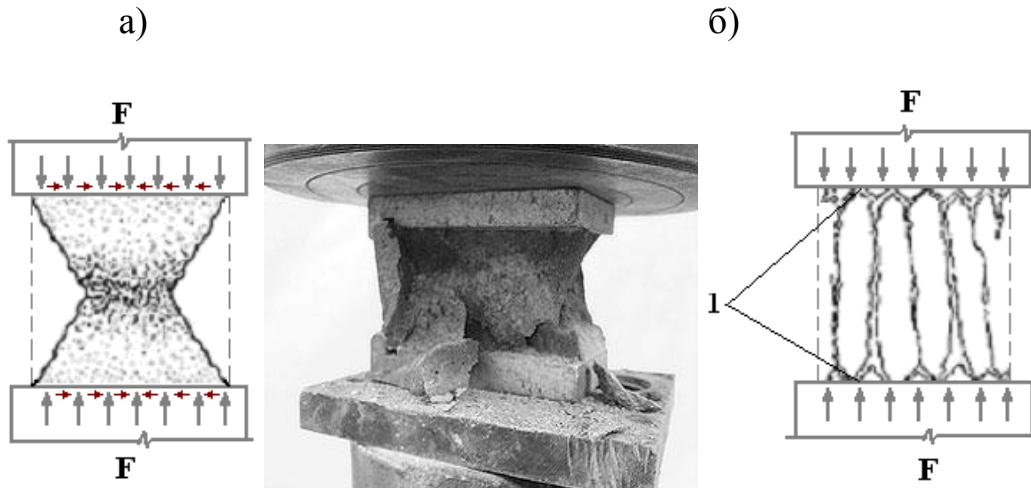


Рис. 1.18. Схема деформирования образцов бетона при сжатии: а – при наличии трения по опорным плоскостям; б – при отсутствии трения

*Предел прочности при сжатии или растяжении* вычисляют делением максимальной нагрузки при разрушении образца ( $F$ ) на площадь первоначального поперечного сечения ( $A$ ):

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \text{ МПа}$$

*Предел прочности при изгибе* определяют на образцах призмах, расположенных на двух опорах. Сила ( $F$ ) прикладывается, как правило, в середине образца.

$$R_{изг} = \frac{3Fl}{2bh^2}, \text{ МПа}$$

где  $l$  – расстояние между опорами, см;  $b$  – ширина образца, см;  $h$  – высота, см.

**Примечание – 1.** Нагрузка выражается в меганьютонах (МН), площадь – в квадратных метрах ( $\text{м}^2$ ). Поэтому предел прочности, как и напряжение, в Международной системе единиц (СИ) измеряется  $\text{МН}/\text{м}^2$  или в МПа. В некоторых нормативных документах сохраняется размерность показателя предела прочности в технической системе единиц –  $\text{кгс}/\text{см}^2$ . 1 меганьютон =  $10^6$  Па, 1 МПа =  $10$  кгс/см<sup>2</sup>.

**2.** Соотношение различных единиц прочности следующее: 1 кгс  $\approx$  10 Н; 1 Н  $\approx$  0,1 кгс; 1 кН  $\approx$  100 кгс; 1 кгс/мм<sup>2</sup>  $\approx$  10 МПа; 1 Па =  $10^{-6}$  МПа; 1 МПа =  $10^6$  Па; 1 Н/мм<sup>2</sup> = 1 МПа; 1 н/мм<sup>2</sup> = 1 Па; 1 МПа  $\approx$  10 кгс/см<sup>2</sup>.

На величину прочности испытываемых материалов оказывают влияние размеры и форма образцов, характер обработки их поверхности, скорость нарастания нагрузки и

другие факторы. Поэтому при испытании материалов необходимо строго придерживаться указаний стандарта.

Согласно статистической теории прочность образцов лимитирована дефектами, содержащимися в их объёме. С увеличением объёма образца повышается вероятность существования в нём крупного дефекта. Поэтому средняя прочность образцов одного и того же материала возрастает с уменьшением их размеров. Такая зависимость получила название *масштабного фактора*. Чтобы исключить влияние масштабного фактора при установлении прочности материалов, надо либо строго придерживаться стандартных размеров образцов, либо пользоваться масштабными коэффициентами, равными отношению прочности образцов произвольных размеров к прочности стандартных образцов.

Различают *теоретическую* (прочность с идеальной структурой) и *реальную* (*техническую*) прочность материалов. *Теоретической прочностью* соответствует напряжению, возникающее в материале, равное силе межатомного притяжения. Считается, что значения прочности материалов, полученных экспериментально, на несколько порядков меньше значений теоретической прочности. Это обусловлено дефектами структуры существующих материалов, из-за чего нагрузка при испытаниях распределяется неравномерно по сечению образца.

Предел прочности при сжатии строительных материалов колеблется в довольно широких пределах от 0,5 МПа (некоторые виды теплоизоляционных материалов), до 1000 МПа и выше (высокосортные стали). Например, у кирпича от 7,5 до 30 МПа, у бетона – до 115 МПа и более (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Прочность и модуль упругости строительных материалов

Материал	Прочность, МПа			Модуль упругости, МПа
	сжатие	изгиб	растяжение	
Сталь	210...600	-	380...900	$2 \cdot 10^5$
Гранит	150...250	-	3...5	$0,49 \cdot 10^5$
Бетон тяжёлый	10...120	2...8	1...4	$(0,146...0,232) 10^5$
Кирпич	7,5...30	1,8...4,4	-	-
Сосна	40...48	70...85	90...110	$(0,135...0,15) 10^5$
Дуб	52...57	93...107	100...115	
Стекло	500...2000	35...100		$(0,48...1,2) \cdot 10^5$
Стеклопластик	90...150	130...250	60...120	$0,55 \cdot 10^5$
Каучук	-	-	8	$0,00008 \cdot 10^5$

По прочности строительные материалы обычно подразделяют на марки, классы или сорта. Методы испытания для определения прочности путём разрушения испытываемых образцов называются разрушающими. Однако традиционные методы

определения прочности с изготовлением стандартных образцов не всегда соответствуют реальной прочности материала в конструкциях. Более достоверными результаты могли быть при испытании выбуренных кернов из конструкции. Однако это приведёт к ослаблению конструкций.

В строительной практике применяются и *неразрушающие* способы контроля прочности. Количественная оценка свойств материала такими способами производится по косвенным показателям – скорости распространения ультразвукового импульса (*ультразвуковой способ*), по частоте собственных колебаний (*резонансный*), величине пластической деформации (*механические*) и др.



Рис. 1.19 Молоток Кашкарова

Из механических методов наиболее распространён т.н. метод НИИ Мосстроя с помощью молотка конструкции К.П. Кашкарова или Н.А. Физделя (рис. 1.19). Он основан на том, что при ударе молотком по поверхности испытываемого материала одновременно образуется два отпечатка: на материале и на эталонном стержне в молотке. Затем по величине соотношения диаметров отпечатков и предварительно построенному тарировочному графику определяют прочность материала ГОСТ 26690.

**Коэффициент конструктивного качества** (удельная прочность)  $K_{KK}$  оценивается по отношению прочности материала к его средней плотности. Наиболее эффективными являются материалы, имеющие наименьшую плотность и наиболее высокую прочность. Физически коэффициент конструктивного качества выражает собой максимальную высоту столба из данного материала, когда в основании под действием собственной массы возникают разрушающие напряжения.

**Твёрдость** – это способность материала сопротивляться упругой и пластической деформации или разрушению при внедрении в поверхностный слой другого более твердого материала, не получающего остаточной деформации. Существует ряд методов определения твёрдости в зависимости от вида и назначения материала. Твёрдость природных каменных материалов оценивают по шкале сравнительной твёрдости Мооса (по имени немецкого минеролога F. Mohs).



Рис. 1.20. Шкала сравнительной твёрдости Мооса

Шкала Мооса предназначена для грубой сравнительной оценки твёрдости материалов (рис. 1.20). Она состоит из 10 минералов, принятых за эталон и расположенных по степени возрастания их твёрдости, из которых первый – тальк (самый мягкий) и десятый – алмаз (самый твёрдый). Показатель твёрдости испытываемого материала находится между показателем твёрдости двух соседних минералов. Испытываемый материал либо царапает эталон и его твердость выше по шкале Мооса, либо царапается эталоном и его твердость ниже эталона.

*Примечание – Термин «твёрдость» можно обозначить также как способность материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела, а также свойство более твердого тела проникать в другие материалы.*

Однако твёрдость большинства материалов (металлов, пластмасс, древесины, бетона) определяют вдавливанием в образцы с установленным усилием индентора – стального шарика либо твёрдого наконечника правильной геометрической формы (конуса или пирамиды) в течение определённого времени (количественный метод). По величине образующегося отпечатка рассчитывают показатель твердости. В зависимости от типа и формы индентора различают показатель твердости по Бринеллю (символ НВ),

по Виккерсу (HV), по Кнуппу (HN) и др. Однако результаты испытаний одних и тех же материалов, проведенных различными методами, как правило, не совпадают, хотя сходимость их имеет место.

Твёрдость нельзя отождествлять с понятием прочности. Например, древесина по прочности равна или превосходит прочность бетона, но твёрдость её значительно меньше. В то же время самое твёрдое вещество в мире – алмаз – обладает относительно малой прочностью. Нефрит имеет «скромную» твёрдость – 6, но это один из самых прочных в мире камней (1000...1200 МПа). Тем не менее, для некоторых материалов существует определённая связь между твёрдостью и прочностью, например, у металлов.

**Хрупкость** – свойство материала внезапно разрушаться после незначительной пластической деформации. Хрупкому материалу, в отличие от пластичного, нельзя придать форму, так как под нагрузкой материал быстро разрушается, т.е. дробится на части или рассыпается.

Хрупкими являются природные и искусственные камни, стекло, чугун и некоторые полимерные материалы. Однако провести чёткую границу между пластичными и хрупкими материалами практически невозможно, поскольку на характер деформации влияют множество факторов: температура, тип напряжённого состояния, скорость деформации, окружающая среда и др. Например, с понижением температуры большинство строительных материалов становятся хрупкими (битумы, некоторые пластмассы, металлы).

**Эластичность** (от греч. *elastos* – гибкий, тягучий) – способность материала испытывать значительные упругие (обратимые) деформации без разрушения и при сравнительно незначительных нагрузках. Деформации их могут составить более 100 %. К таким материалам (эластомерам) относят каучуки, резину, полимеры линейной структуры и др.

**Ударная вязкость** – свойство обратное хрупкости – способность материала оказывать сопротивление быстро возрастающим (ударным) нагрузкам. Характеризует надёжность материала и его способность сопротивляться хрупкому разрушению. Оценивается работой, затраченной на деформацию и разрушение специальных образцов с концентратором напряжений (надрезом) определённой формы и размеров в условиях удара (рис. 1.21), отнесённой к единице площади поперечного сечения образца и измеряется в Дж/м<sup>2</sup> (ГОСТы 4647, 9454 и 19109).

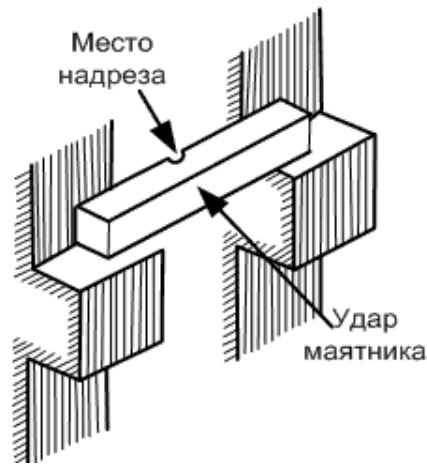


Рис. 1. 21. Схема испытания образца на ударную вязкость

**Ползучесть** – свойство материала медленно и непрерывно увеличивать пластические деформации в течение длительного периода времени под действием постоянной нагрузки. Учитывают при расчёте и изготовлении строительных конструкций, особенно железобетонных и на основе синтетических полимерных материалов.

**Истираемость** – способность материала сопротивляться истирающим воздействиям, которые вызывают постепенный отрыв и удаление с поверхности материала мелких частиц. Значимость этого показателя связана с трением о поверхность материала подошв обуви, транспортных средств и т.д. Сопротивление материала истиранию определяют на специальных приборах (кругах истирания – рис. 1.22) путём воздействия на образец абразивами (кварцевым песком, наждаком, наждачной шкуркой).



Рис. 1.22. Круг истирания

Оценивается истираемость по величине потери массы (объёма, толщины) образца, отнесённой к площади истирания, и выражается в г/см<sup>2</sup>:

$$I = \frac{m_1 - m_2}{A},$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – масса образца до и после истирания, г;  $A$  – площадь истирания, см<sup>2</sup>.

Степень истираемости зависит от прочности и твёрдости материала. Чем больше твёрдость материала, тем меньше его истираемость. Например, для гранита показатель истираемости равен 0,03...0,07 г/см<sup>2</sup>, а для известняка и мрамора в 10...15 раз больше. Истираемость является важной характеристикой для оценки эксплуатационных свойств материалов напольных и дорожных покрытий, лестниц, ступеней и др.

По устойчивости к поверхностному истиранию, например, напольные материалы согласно СТБ ЕН ISO 10545 подразделяются на группы (классы): от группы 1 (PE I) до группы 5 (PEI V). Испытания предусматривают вращение на поверхности материала специального абразивного материала (корунда). Для класса (PE I) на поверхности не должно быть следов после 150 оборотов. Такие материалы рекомендуются для ванных комнат и помещений, где не ходят в уличной обуви. Для класса (PEI V) не должно быть следов после 12000 оборотов. Материалы данной группы пригодны к применению в помещениях с движением любой интенсивности (бары, магазины, супермаркеты, аэропорты, станции метро и др.).

## 11. Эксплуатационные свойства

Свойства строительных материалов не остаются постоянными во времени, а постепенно изменяются. Причиной этому служат различные механические, химические, биологические и другие воздействия окружающей среды в процессе эксплуатации. Такие изменения могут происходить медленно (десятилетиями и столетиями, например, разрушение горных пород) и сравнительно быстро (коррозия металлов, бетона). Поэтому материалы должны обладать не только комплексом положительных свойств, но и сохранять их длительное время в процессе эксплуатации в конструкциях и сооружениях.

**Водостойкость** – это способность материала противостоять растворяющему, адсорбционному и химическому воздействию воды. Практически это степень снижения прочности материала при предельном его водонасыщении. Численно характеризуется *коэффициентом размягчения*:

$$K_{разм} = \frac{R_{нас}}{R_{сух}}$$

где  $R_{нас}$  – предел прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии МПа;  $R_{сух}$  – то же, сухого материала, МПа (СТБ 4.204).

Снижение прочности насыщенных водой материалов обусловлено частичным разрушением структуры вследствие разрыва наиболее слабых химических связей. Величина коэффициента размягчения для разных материалов колеблется от 0 (необожжённая глина) до 1,0 (стекло, битум, сталь). Критерием водостойкости принято считать 20%-ное снижение прочности, т.е. материалы с  $K_{разм} \geq 0,8$  относятся к водостойким. При  $K_{разм} < 0,8$  материалы не водостойки и не могут применяться в воде и в сырых условиях. Водостойкость материалов можно повысить путём нанесения на его поверхность гидрофобных покрытий.

**Влагостойкость** – способность материала к долговременному сопротивлению разрушающему действию влаги при периодических увлажнениях и высыханиях (СТБ 1900).

**Морозостойкость.** В строительном материаловедении понятие «морозостойкость» связывают с воздействием на материал двух основных факторов: для материалов пористой структуры (природные и искусственные каменные материалы и др.) по совокупному влиянию низких температур и воды и для абсолютно плотных материалов (стекло, металлы, полимерные изделия) – по влиянию низких температур.

Для пористых материалов под морозостойкостью понимается способность насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и значительного снижения прочности, т.е. на заданном уровне. Причиной разрушения является вода, которая, замерзая в порах, увеличивается в объёме почти на 10 %. Если поры заполнены водой, то возникает давление на стенки пор, достигающее иногда нескольких десятков МПа (до 200 МПа) и приводящее к разрушению материала. Обычно эти разрушения начинаются с поверхности, а затем распространяются внутрь материала. Хотя во многих пористых материалах вода и не заполняет более 90% объёма пор, т.е. образующийся лёд имеет свободное пространство для расширения, тем не менее, материал разрушается в результате многократного попеременного замораживания и оттаивания. Поэтому количественно морозостойкость материалов оценивается циклами замораживания и оттаивания. Количество циклов определяется по потере прочности и массы.

Материалы на морозостойкость испытывают в холодильных камерах путём замораживания насыщенных водой образцов при температуре  $-15...-17$  °С и последующего их оттаивания при температуре  $(18 \pm 2)$  °С. Такой выбор температуры замораживания вызван тем, что в мелких порах и капиллярах вода замерзает при температурах значительно ниже 0°С (до  $-10$ °С). По числу выдерживаемых циклов замораживания и оттаивания материалы подразделяют на марки. Марка состоит из

буквенного обозначения F (от *Freese* – замерзать) и численного значения, которое выражает количество циклов попеременного замораживания и оттаивания, выдерживаемых образцами без снижения прочности на 5...25 % и потери массы на 3...5 % в зависимости от назначения материала. Допускаемые значения (пределы) потери массы и прочности приводятся в стандартах на конкретный материал. Нормативными документами приняты следующие марки строительных материалов по морозостойкости – от F 10 до F 300 (10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200) и более.

Если образцы после замораживания не имеют следов разрушения, характеристикой морозостойкости материала может служить *коэффициент морозостойкости*  $K_f$ :

$$K_f = \frac{R_f}{R_{нас}},$$

т.е. отношение предела прочности при сжатии образцов, подверженных замораживанию  $R_f$  к пределу прочности водонасыщенных образцов в эквивалентном возрасте  $R_{нас}$ , не подвергаемых замораживанию. Для морозостойких материалов коэффициент морозостойкости должен быть более 0.75, а для других не менее 0.85...0.95.

Морозостойкость материала зависит от плотности, прочности, пористости и степени насыщения водой. Пористые материалы являются морозостойкими, если они имеют закрытые поры или вода занимает не более 90% объёма пор. Плотные материалы (гранит, стекло и др.), как правило, морозостойки. Морозостойкость материалов можно повысить путём увеличения его прочности, уменьшения пористости, создания закрытых пор в материале, а так же за счёт использования гидрофобизирующих веществ при изготовлении материала.

Для плотных материалов под морозостойкостью понимают способность их сохранять эксплуатационные (например, пластические) свойства на морозе, и характеризуется наименьшей температурой, при снижении до которой сохраняется требуемый уровень какого-либо свойства (например, материал ещё не становится хрупким и его можно деформировать без образования трещин). Для некоторых материалов количественной характеристикой морозостойкости является коэффициент, который определяется как отношение значений какого-либо показателя свойств при низкой и комнатной температурах. Нет однозначного определения и маркам или классам различных материалов по морозостойкости, а также методикам их испытания.

**Термическая стойкость** – способность материала выдерживать или сохранять свои физико-механические свойства при чередовании резких тепловых изменений (нагревание и охлаждение). Это свойство зависит от однородности материала и температурного коэффициента расширения. Чем более однородный материал, тем он, как правило, более термостойкий. Так, например, каменные материалы из мономинеральных горных пород (мрамор) более термостойки, чем из полиминеральных

(например, гранит). Чем меньше коэффициент термического расширения, тем выше термическая стойкость материала.

**Пожарно-технические свойства.** Основными показателями пожарной опасности строительных материалов, изделий и конструкций являются горючесть, воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, дымообразующая способность, токсичность продуктов горения и огнестойкость (СНБ 2.02.01, СТБ ЕН 13501, ИСО 13943 и ТКП 45-2.02-142). По горючести строительные материалы подразделяют на негорючие и горючие (ГОСТ 30244). К *негорючим* относят материалы не способные гореть в воздухе нормального состава при температуре до 200 °С. В основном это минеральные материалы – бетоны, металлы, стекло, керамика и др.

*Горючесть* устанавливается по содержанию в материале органических веществ. Если органики более 2% по массе, то материал без предварительной проверки относят к горючим и оценивают его степень горючести. Горючие строительные материалы (на основе органических растительных компонентов – древесина, пластмассы (в абсолютном большинстве) и др.) в зависимости от параметров горючести (табл. 1.4) подразделяются на слабо горючие (Г1), умеренно горючие (Г2), нормально горючие (Г3) и сильно горючие (Г4). Например, материалы типа Г1 и Г2 при действии открытого огня тлеют, обугливаются, а после устранения источника огня тление прекращается (СТБ EN ISO 1182, ГОСТ Р ИСО 1182). К таким материалам относят фибролит, арболит, древесину, пропитанную антипиренами и др.

*Примечание – По ГОСТ 30244 строительные материалы относятся к горючим, если не удовлетворяют хотя бы одному из следующих значений параметров горючести, определяемых экспериментальным путем: прирост температуры – не более 50 °С, потеря массы образца – не более 50 %, продолжительность устойчивого пламени горения – не более 10 секунд.*

Таблица 1.4. Классификация материалов по степени горючести

Группа горючести	Параметры горючести			
	Температура дымовых газов, °С	Степень повреждения по длине, %	Степень повреждения по массе, %	Продолжительность самостоятельного горения, с
Г1	≤135	≤65	≤20	0
Г2	≤235	≤85	≤50	≤30
Г3	≤450	>85	>50	≤300
Г4	>450	>85	>50	>300

*Примечание – 1. Термин «горение» означает экзотермическую реакцию сгорания вещества в окислителе и сопровождающаяся одним из трех факторов - наличием пламени, свечением или*

выделением дыма. Условиями протекания процесса горения являются: топливо – температура воспламенения – кислород. Если какое-либо из этих условий не выполняется, то горения не будет.

2. **Тление** – это беспламенное и не сопровождающееся видимым световым излучением горение материала.

3. Характеристикой обратной горючести является **несгораемость**, т.е. способность материала не загораться. Согласно Международному стандарту ISO 1182 материал определяется как несгораемый, если при температуре 750 °С он не выделяет излишней энергии – не загорается и не начинает тлеть сам.

**Воспламеняемость** строительных материалов определяется поверхностной плотностью теплового потока (ППТП), т. е. воздействием лучистого теплового потока на единицу поверхности испытываемого образца (кВт/м<sup>2</sup>). Параметрами воспламеняемости материалов являются критическое (минимальное) значение поверхностной плотности теплового потока (КППТП), при котором возникает устойчивое пламенное горение, и время воспламенения. В зависимости от указанных параметров горючие строительные материалы по воспламеняемости подразделяются на три группы (ГОСТ 30402):

- В1 (трудновоспламеняемые);
- В2 (умеренно воспламеняемые);
- В3 легковоспламеняемые.

Для В1 КППТП составляет более 35, В2 – от 20 до 35 и В3 – менее 20 кВт/м<sup>2</sup>.

*Примечание* – **Воспламеняемость** – способность материала к горению пламенем в заданных условиях.

По **распространению пламени по поверхности** горючие строительные материалы подразделяются на группы (ГОСТ 30444): не распространяющие пламя (РП1), слабо распространяющие пламя (РП2), умеренно распространяющие пламя (РП3), сильно распространяющие пламя (РП4). Характеристикой разделения на группы является величина теплового потока, при котором прекращается распространение пламени. Например, для РП1 КППТП должно составлять 11,0 и более, а для РП4 менее 5,0 кВт/м<sup>2</sup>.

Показатель распространения пламени определяют для поверхностных слоев кровли и полов, в т.ч. ковровых покрытий.

Некоторые органические материалы при действии огня не дают открытого пламени, но спекаются, оплавляются, образуют дым и выделяют вредные для здоровья человека газы. Если, например, древесина и пенополистирол при горении выделяют только угарный и углекислый газы, то отдельные пластмассы выделяют фенол, оксиды серы, фосфора и другие вредные или ядовитые вещества. В зависимости от способности создавать ту или иную опасную среду строительные материалы (ГОСТ 12.1.044) подразделяются на группы по **дымообразующей способности** и **токсичности** продуктов горения.

Показатель токсичности продуктов горения определяют преимущественно, для полимерных отделочных и теплоизоляционных материалов. В зависимости от летального эффекта газообразных продуктов горения от массы материала, отнесенной к единице объема экспозиционной камеры при испытании строительные материалы подразделяются на подгруппы по токсичности продуктов горения:

- Т1 (мало опасные);
- Т2 (умеренно опасные);
- Т3 (высоко опасные);
- Т4 (чрезвычайно опасные).

По дымообразующей способности (значению коэффициента дымообразования – оптической плотности дыма, образующегося при горении или тлении материала в  $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ ) строительные материалы делятся на группы:

- Д1 (с малой дымообразующей способностью – до  $50 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ );
- Д2 (с умеренной дымообразующей способностью –  $50 \dots 500 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ );
- Д3 (с высокой дымообразующей способностью – свыше  $500 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ ).

*Примечание – Оптическая плотность дыма – это мера поглощения светового луча, прошедшего через дым и выраженная десятичным логарифмом плотности дыма. А непрозрачность (плотность дыма) – это мера поглощения светового луча, прошедшего через дым, выраженная отношением падающего светового потока к световому потоку, прошедшему через дым в заданных условиях и является величиной безразмерной.*

**Огнестойкость** характеризует способность материала в конструкции выдерживать воздействие огня, высоких температур, воды и ограничивать распространение огня в условиях пожара в течение определенного промежутка времени.

*Примечание – По международным стандартам **огнестойкость** определяется, как способность материала выдерживать воздействие теплоты и механических нагрузок, возникающих во время пожара, характеризующая критериями R, E, I и W, по которым классифицируется на классы.*

Для штучных строительных материалов на стадии разработки на них нормативно-технической документации определяется предел огнестойкости и класс пожарной опасности конструкций, в которых они используются (СТБ 11.02.03, СНБ 2.02.01 и ГОСТ 30247.0). Предел огнестойкости устанавливается по времени в минутах (часах) от начала теплового воздействия до наступления одного или последовательно нескольких нормируемых для данной конструкции признаков предельных состояний (потери несущей способности «R», целостности «E», теплоизолирующей способности «I» или ограничение плотности потока теплового излучения – «W»). Например, предел огнестойкости элементов деревянного дома составляет 15...20 мин, стального каркаса – 30 мин, железобетонных изделий – 60...120 мин, бетонных – 120...300 мин.

По новой европейской классификации (Construct 98/319, СТБ EN 13501) при определении огнестойкости материалов рассматриваются два различных понятия:

реакция на огонь (ISO 11925 и ISO 5657) и огнестойкость. *Реакция на огонь* характеризуется способностью материала под действием огня поддерживать горение. По реакции на огонь различают материалы:

- негорючие, которые сами не выделяют никакой теплоты под действием огня;
- горючие – способны выделять теплоту при их нагревании до определённой степени;
- воспламеняющиеся – способны при нагревании выделять горючие газы в количествах, достаточных для протекания реакции горения в газовой фазе, т. е. создания пламени.

Все они делятся на семь евроклассов: А1, А2, В, С, D, Е и F. Лучшие материалы с точки зрения реакции на огонь (с самым высоким уровнем стойкости) относятся к классу «А» (А1 и А2), худшие – к классу «F». При этом существуют различия в классификации и обозначении материалов в зависимости от их назначения (полы, стены, крыши, потолки). Например, для полов – AFL, BFL и т. д.

Огнестойкость материалов учитывается при проектировании несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений различного назначения, а также при выборе материалов для их отделки.

По совокупности всех показателей пожарной опасности строительные материалы подразделяются на классы (табл. 1.5) от КМ0 (негорючие) до КМ1...КМ5 (горючие).

Таблица 1.5. Классы пожарной опасности строительных материалов

Свойства пожарной опасности	Класс пожарной опасности					
	КМ0	КМ1	КМ2	КМ3	КМ4	КМ5
Горючесть	НГ	Г1	Г1	Г2	Г3	Г4
Воспламеняемость	-	В1	В1	В2	В2	В3
Дымообразующая способность	-	Д1	Д3	Д3	Д3	Д3
Токсичность продуктов горения	-	Т1	Т2	Т2	Т3	Т4
Распространение пламени по поверхности	-	РП1	РП1	РП2	РП3	РП4

**Огнеупорность** – свойство материала противостоять, не расплавляясь, воздействию высокой температуры (ГОСТ 28874). Характеризуется температурой, при которой образец в форме пирамиды деформируется и вершиной касается основания. По степени огнеупорности материалы подразделяют:

- на *легкоплавкие* – способны длительное время выдерживать температуру до 1350°C (пустотелый и полнотелый керамический кирпич);
- *тугоплавкие* – 1350...1580°C (гжельский кирпич для кладки печей);
- *огнеупорные* – от 1580 до 1770 °C (динас, шамот, корунд и др.);
- *высокоогнеупорные* – свыше 1770 °C (до 2000 °C);
- *высшей огнеупорности* – свыше 2000 °C.

*Примечание – Если огнеупорность рассматривается в контексте пожарно-технических свойств, то под **огнеупорностью** понимается способность материала замедлять, ограничивать или предотвращать горение пламенем (ИСО 13943).*

**Химическая (коррозионная) стойкость** – свойство материала сопротивляться коррозионному воздействию агрессивной среды (жидкой, газообразной, твёрдой) или физическому воздействию (нагревание, облучение, электрический ток).

*Примечание – **Коррозия** (от лат. *corrosio* – разъедание) это физико-химический процесс изменения свойств, повреждения и разрушения материалов вследствие перехода их компонентов в состав химических соединений с компонентами среды.*

Основными агрессивными агентами, вызывающими коррозию строительных материалов, являются: пресная и солёная вода, минерализованные почвенные воды, растворенные в дождевой воде газы ( $SO_3$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $NO_2$ ) от промышленных предприятий и автомашин, микроорганизмы (*биокоррозия*). На промышленных предприятиях коррозию строительных материалов часто вызывают более сильные агенты: растворы солей, кислот и щелочей, расплавленные материалы и горячие газы. Модифицирование коррозионной системы, ведущее к снижению скорости коррозии, является противокоррозионной защитой.

Большинство строительных материалов не обладают достаточной стойкостью к действию кислот, солей, щелочей, природных факторов. Почти все цементы и конгломераты на их основе, а также мрамор, известняк, доломит не могут противостоять действию кислот, растворов некоторых солей. Битумы разрушаются при действии концентрированных растворов щелочей, а также изменяют свои свойства вследствие физико-химических превращений при действии природных факторов (кислорода воздуха, УФ излучения, повышение температуры). Этот процесс носит название «старение» и проявляется в повышении хрупкости и снижении прочности, потере гидрофобности. Наиболее стойкими материалами к действию кислот и щелочей являются керамические материалы и многие изделия из пластмасс.

Коррозионная стойкость зависит от химического состава материала и пористости, определяющей условия взаимодействия с агрессивной средой. Если в составе материала преобладает кремнезём ( $SiO_2$ ), то он, как правило, оказывается стойким к действию кислот, но взаимодействует со щелочами. Если в составе содержится больше основных оксидов ( $CaO$  и др.), то материал не стойкий к кислотам, но щелочами не разрушается.

Химическая стойкость каждого материала оценивается нормативно-техническими документами. Одни материалы (например, керамические плитки и плиты) оценивают визуально по разрушению после воздействия испытательных растворов в течение установленного периода времени; другие – по изменению массы и прочности или по специальным коэффициентам, которые рассчитывают по отношению прочности (массы) материала после коррозионных испытаний к прочности (массе) до испытаний. При

коэффициенте 0,90...0,95 материал признается химически стойким по отношению к исследуемой среде. Существуют и другие методики определения химической стойкости материалов.

Различают также *биологическую стойкость* – способность материалов сопротивляться действию процессов жизнедеятельности бактерий и живых организмов (биологической коррозии). Низкую биологическую стойкость имеют преимущественно материалы органического происхождения.

**Радиационная стойкость** (радиация от лат. *radiatio* - излучение) – свойство материала сохранять исходный химический состав, структуру и технические характеристики в процессе и (или) после воздействия ионизирующих излучений. Радиационная стойкость материалов существенно зависит от вида радиации, величины и мощности поглощённой дозы, режима облучения (непрерывное или импульсное, кратковременное или длительное), условий эксплуатации материала (температура, давление, механические нагрузки), размеров конструкции, удельной поверхности и других факторов. При длительном воздействии на материал ионизирующих излучений возможны разрывы химических связей в структуре материала, смещение атомов в кристаллической решётке, аморфизация структуры, образование внутренних напряжений, деформаций и трещин, изменения упругих характеристик, плотности и теплопроводности материалов. Все это в конечном итоге приводит к разрушению материала.

Количественной характеристикой или мерой радиационной стойкости материала может быть пороговая доза, при которой происходит существенное изменение определённых свойств материала, т.е. материал становится непригодным для конкретных условий применения или до заданной степени меняет значение характерного параметра. Для сравнительной оценки защитных свойств материала используют «толщину слоя половинного ослабления», равную толщине слоя защитного материала, необходимой для ослабления интенсивности излучения в 2 раза.

Для защиты от радиоактивных излучений применяют *гидратные*, имеющие повышенное содержание химически связанной воды, *особо тяжёлые* бетоны (плотность 3000...5000 кг/м<sup>3</sup>) и другие материалы. Такие материалы применяют на атомных электростанциях, в исследовательских центрах и других сооружениях, где имеются радиоактивные источники (ГОСТ Р 51882).

**Долговечность** строительных материалов является одним из важнейших критериев их технико-экономической эффективности. Она определяет способность строительных материалов, изделий и конструкций длительное время сопротивляться комплексному воздействию внешних и внутренних факторов в условиях эксплуатации. К таким факторам можно отнести интенсивность воздействия нагрузок, изменение температуры и влажности, действие различных газов или растворов солей, совместное действие воды и мороза, солнечных лучей и т.п. При длительном воздействии таких

факторов может произойти нарушение сплошности структуры (образование микро- и макротрещин), изменение состояние вещества (изменение кристаллической решётки, перекристаллизация, переход из аморфного состояния в кристаллическое и др.). Процесс постепенного изменения (ухудшения) свойств материалов в эксплуатационных условиях ещё называют *старением*. Старение переводит материал, как правило, в состояние хрупкого микротрещинообразования и в конечном итоге к резкому сокращению долговечности.

*Примечание – В соответствии с ГОСТ 27751 долговечность определяется как способность материала (изделия, конструкции, строительного объекта) сохранять прочностные, физические и другие свойства, установленные нормативными документами и обеспечивающими его нормальную эксплуатацию в течение расчетного срока службы при надлежащем техническом обслуживании.*

Долговечность оценивается экспериментальным или расчётным путём (ГОСТ Р 51372, ТР 165-05) в годах от начала эксплуатации в заданных условиях до момента достижения предельного состояния (критических уровней). За предельное состояние может приниматься максимальное или минимальное количественное значение показателей физико-механических свойств материала или изделий, ниже которых они не могут дальше эксплуатироваться в заданных условиях, требования безопасности или экономические показатели. При выборе таких показателей ориентируются на требования действующих строительных норм и стандартов на конкретные виды строительных материалов. Например, для железобетонных и каменных конструкций нормами предусмотрены три степени долговечности: I – соответствует сроку не менее 100 лет, II – 50 лет, III – 20 лет.

Долговечность строительных материалов оказывает существенное влияние на величину эксплуатационных затрат, содержание зданий и сооружений.

*Примечание – По другим источникам (например, ТР 165-05) долговечность определяется как способность материала, изделия, конструкции или системы сохранять свои эксплуатационные свойства (работоспособность) при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Оценивается сроком службы в годах, в течение которых целесообразно их техническое обслуживание и ремонт, т.е. до момента их полной замены или капитального ремонта. Для ряда строительных материалов (например, бетонов, строительных растворов) весь период долговечности, еще условно разделяют на три временных этапа: I – характеризуется упрочнением структуры или улучшением показателей свойств; II – относительной стабильностью; III – деструкцией, т.е. медленным или быстрым нарушением структуры вплоть до ее критического состояния или полного разрушения.*

**Надежность** является общим свойством, характеризующим проявление всех других свойств материалов и изделий в процессе их эксплуатации и складывается из долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости.

## **Примерная тематика учебно-исследовательских работ**

- 1. Исследование взаимосвязи состава, структуры и свойств строительных материалов.*
- 2. Оценка и контроль качества строительных материалов.*
- 3. Неразрушающие способы контроля прочности строительных материалов.*
- 4. Способы контроля морозостойкости строительных материалов.*
- 5. Теплоэнергетические характеристики и тепловая защита зданий и сооружений.*
- 6. Экологическая оценка строительных материалов.*
- 7. Коррозионная стойкость строительных материалов.*
- 8. Пожарно-технические характеристики строительных материалов.*
- 9. Радиационная стойкость строительных материалов.*

## **Вопросы и задания для самоконтроля**

- 1. Приведите химический, минералогический и фазовый составы материалов.*
- 2. Что такое структура материалов? Что понимается под микро- и макроструктурой материалов?*
- 3. Опишите основные различия кристаллических и аморфных строительных материалов. Приведите примеры.*
- 4. Приведите примеры изотропных и анизотропных строительных материалов.*
- 5. Дайте определение композиционным строительным материалам. Приведите примеры.*
- 6. Какие основные физико-механические свойства определяют качество материала и определяют область его применения?*
- 7. Дайте определение физическим свойствам материалов: плотности, пористости и пустотности; приведите формулы и численные значения для отдельных видов строительных материалов.*
- 8. В чем различие между истинной, средней и насыпной плотностью строительного материала? Как изменяются их численные значения с увеличением пористости?*
- 9. Что такое пористость, как она вычисляется, и как влияет пористость на основные свойства материалов? Приведите примеры пористых и плотных материалов.*
- 10. Как открытая и закрытая пористость влияют на морозостойкость, теплопроводность и акустические свойства материалов?*
- 11. Перечислите свойства материалов по отношению к действию воды.*
- 12. Как вы понимаете термины «водопоглощение», «водостойкость» и «коэффициент размягчения материала»? Объясните причины снижения прочности материалов при их увлажнении.*
- 13. Почему водопоглощение по объему, как правило, меньше пористости материала?*
- 14. Что характеризует собой коэффициент размягчения материала, что выражает его численное значение, и от чего он зависит?*

15. Что такое влажность, и как она характеризует пористость материала? Как изменяются свойства материалов с изменением их влажности? Приведите примеры.
16. Что называется гигроскопичностью материала, и от чего она зависит?
17. Опишите свойство материала «водонепроницаемость». Приведите примеры водонепроницаемых материалов.
18. Влияние влажности, попеременного увлажнения и высыхания на свойства материалов.
19. Перечислите свойства материалов по отношению к действию тепла и холода.
20. Расскажите о поведении влаги в материалах и изделиях при отрицательных температурах и укажите, какие материалы являются морозостойкими.
21. Что такое морозостойкость, каковы методы определения и пути ее повышения. Что означает марка бетона по морозостойкости F 500?
22. Как открытая и замкнутая пористость материалов влияют на морозостойкость изделий и конструкций? Какими показателями оценивается морозостойкость строительных материалов?
23. Назовите основные теплофизические свойства строительных материалов, приведите их определения, формулы, размерность.
24. Что понимается под теплопроводностью, и как она учитывается при выборе материала для ограждающих конструкций жилых зданий?
25. Как зависит теплопроводность материала от его пористости, влажности, температуры? Приведите примеры теплоизоляционных материалов и их численные значения теплопроводности.
26. Что понимается под теплостойкостью и теплоемкостью строительных материалов?
27. Что понимается под термическим сопротивлением слоя материала? Как определяется термическое сопротивление ограждающей конструкции?
28. Какие показатели характеризуют пожарную опасность строительных материалов?
29. Охарактеризуйте свойства материалов: огнестойкость и огнеупорность. Понятие о пределах огнестойкости.
30. Как вы понимаете свойства материалов: деформативность, упругость, пластичность, прочность? Приведите примеры упругих и пластичных строительных материалов.
31. Приведите формулы определения прочности строительных материалов. Экспериментальное определение пределов прочности при сжатии, растяжении и изгибе.
32. Как определить прочность бетона с разрушением и без разрушения образца? Перечислите методы неразрушающего контроля прочности строительных материалов.
33. Приведите размерность величин, выражающих основные свойства строительных материалов: плотность, пористость, водопоглощение, влажность, теплопроводность, термическое сопротивление, теплоемкость, прочность и др.
34. Что характеризует коэффициент конструктивного качества? Приведите примеры материалов с высоким коэффициентом конструктивного качества.
35. Что такое истираемость и твердость, и как их определяют?

36. Как Вы понимаете свойства материалов: структурная прочность, вязкость, адгезия и когезия.

37. Что называется химической стойкостью материала, как она зависит от его состава и строения, и в чем сущность процессов коррозии? Как можно повысить химическую и коррозионную стойкость материалов?

38. Что понимают под радиационной стойкостью материалов, какие факторы ее определяют?

39. Что такое долговечность и старение материалов?