

Высшее профессиональное образование

---

БАКАЛАВРИАТ

# АРХИТЕКТУРНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УЧЕБНИК

Под редакцией Ю. М. Тихонова, Ю. П. Панибратова

*Для студентов учреждений  
высшего профессионального образования,  
обучающихся по направлению подготовки «Архитектура»*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2013

УДК 72:620.22(075.8)  
ББК 85.11:30.3я73  
А878

Авторы:

Ю. М. Тихонов, Ю. П. Панибратов, Ю. Г. Мещеряков, В. Б. Зверев,  
О. М. Малахов

Рецензенты:

зав. кафедрой архитектурного материаловедения Московского архитектурного института (государственной академии), проф., заслуженный работник высшей школы РФ *В. Е. Байер*;  
д-р техн. наук, проф. Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета *В. В. Инчик*;  
д-р архитектуры, проф. Санкт-Петербургской государственной художественно-промышленной академии им. А. Л. Штиглица, ведущий научный сотрудник НИИТАГ РААСН *М. С. Штиглиц*

**Архитектурное материаловедение** : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/[Ю. М. Тихонов, Ю. П. Панибратов, Ю. Г. Мещеряков и др.] ; под ред. Ю. М. Тихонова, Ю. П. Панибратова. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 288 с., [16] л. цв. ил. — (Сер. Бакалавриат).  
ISBN 978-5-7695-9567-7

Учебник создан в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки «Архитектура» (квалификация «бакалавр»).

Изложены основы технологий. Рассмотрены виды, свойства и области применения различных строительных материалов и изделий, в том числе декоративно-отделочных. Уделено внимание свойствам, формирующим эстетическое восприятие архитектуры форм.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 72:620.22(075.8)  
ББК 85.11:30.3я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Тихонов Ю. М., Панибратов Ю. П., Мещеряков Ю. Г.,  
Зверев В. Б., Малахов О. М., 2013

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2013  
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2013

ISBN 978-5-7695-9567-7

В работе над учебником учитывались базовые требования Федерального государственного образовательного стандарта по архитектурному материаловедению (блок архитектурно-строительные конструкции, материалы и технологии).

В результате изучения дисциплины «Архитектурное материаловедение» студент должен:

- иметь общее представление о разнообразии строительных материалов и их классификациях;
- иметь представление об основах технологии, способах управления структурой материалов с целью придания нужных свойств, повышения долговечности;
- знать состав и строение материалов;
- знать технические свойства строительных материалов и представлять взаимосвязь с их получением (происхождением), составом, строением;
- знать основные виды и технические свойства каменных материалов: минералов и горных пород, керамики, стекла, материалов на основе вяжущих веществ, бетонов и строительных растворов, сухих строительных смесей, древесины, битумов и материалов на их основе, пластмасс, металлов, а также акустических, лакокрасочных, теплоизоляционных и огнезащитных материалов;
- знать области применения указанных материалов.

Кроме того, студент также должен:

- знать номенклатуру отделочных материалов, способы их декорирования, основы правильного выбора отделочных материалов с учетом их декоративных возможностей, эксплуатационных условий и экономичности;
- уметь использовать полученные знания при курсовом и дипломном проектировании, а также для усвоения дисциплин, изучающихся на последующих семестрах;
- при проектировании правильно выбирать отделочные материалы и применять их с учетом комплекса мероприятий по обеспечению долговечности, снижения потерь тепла, повышения комфорта жилых и общественных зданий и помещений;
- иметь представление о перспективах развития производства новых видов материалов, в том числе декоративно-отделочных.

В курсе «Архитектурное материаловедение» рассматриваются:

- материаловедение как область архитектурно-строительной науки;
- требования, предъявляемые к отделочным материалам, обусловленные особенностями современной архитектуры и технологии строительства;
  - цвет, фактура и текстура как основные средства обеспечения декоративности материала;
  - влияние физико-механических показателей на их эксплуатационные свойства и долговечность;
  - особенности работы материалов в суровых климатических условиях;
  - современные тенденции в развитии производства и применения отделочных материалов в России и за рубежом;
  - материал и архитектурное творчество, роль архитектора в создании новых материалов и изделий.

Знания, приобретенные при изучении курса «Архитектурное материаловедение», необходимы для изучения курсов «Архитектура жилых и общественных зданий», «Архитектурная физика», «Архитектурное проектирование», «Технологии производства строительных работ».

Данный учебник должен помочь формировать знания об основах технологии производства, видах, составе и технических свойствах как общестроительных, так и декоративно-отделочных материалов и изделий; дать сведения об их основных видах и свойствах, в том числе формирующих эстетическое восприятие архитектурных форм: цветовые характеристики, фактура, текстура (сложение, структура и др.).

Цель преподавания дисциплины «Архитектурное материаловедение» — подготовить бакалавра архитектуры, знающего номенклатуру, свойства и возможности отделочных материалов и изделий, их назначение в современном строительстве, в формировании облика современного города, административных и общественных зданий и сооружений, в благоустройстве жилища. Изучение курса должно обеспечить сочетание теоретической подготовки с умением эффективно использовать полученные знания в практической деятельности.

Учебник включает в себя введение и 15 глав.

Авторами написаны следующие главы:

- Ю. П. Панибратов — гл. 1, 9;
- Ю. М. Тихонов — гл. 11, 12, 13, 14;
- Ю. Г. Мещеряков — гл. 5, 6, 7, 8, 10;
- В. Б. Зверев, О. М. Малахов — гл. 2;
- В. Б. Зверев — гл. 3;
- Ю. М. Тихонов, В. Б. Зверев — гл. 4;

О. М. Малахов — гл. 15;

Ю. М. Тихонов написал подразделы, посвященные декоративно-отделочным материалам: подразд. 2.10, 3.6, 4.4, 7.5, 8.10, 10.4 и 10.5.

В списке литературы указаны источники, использованные при написании учебника и рекомендуемые студентам для более глубокого изучения отдельных разделов дисциплины «Архитектурное материаловедение».

Авторы благодарят архитектора Д. Ю. Тихонова и инженера И. В. Федорову за помощь при подготовке рукописи.

## ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

---

### 1.1. Физические свойства

*Истинная плотность* — масса единицы объема материала в плотном состоянии:

$$\rho = \frac{m}{V_a}, \quad (1.1)$$

где  $\rho$  — истинная плотность материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $m$  — масса сухого материала,  $\text{кг}$ ;  $V_a$  — его абсолютный объем или объем в плотном состоянии (без пор),  $\text{м}^3$ .

*Средняя плотность* — масса единицы объема материала в естественном состоянии, т.е. с порами:

$$\rho_0 = \frac{m}{V}, \quad (1.2)$$

где  $\rho_0$  — средняя плотность материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $m$  — масса материала,  $\text{кг}$ ;  $V$  — его объем вместе с порами,  $\text{м}^3$ .

Средняя плотность материала в сухом и влажном состоянии связана отношением

$$\rho_0 = \frac{\rho_w}{(1 + W)}, \quad (1.3)$$

где  $\rho_w$  — средняя плотность материала во влажном состоянии;  $W$  — количество воды в материале, доли от его массы.

Средняя плотность пористых материалов меньше их истинной плотности. Например, средняя плотность легкого бетона —  $500 \dots 1400 \text{ кг}/\text{м}^3$ , а его истинная плотность может быть равна  $2600 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Средняя плотность строительных материалов колеблется в весьма широких пределах: от  $5 \text{ кг}/\text{м}^3$  (особо легкие поропласты) до  $7850 \text{ кг}/\text{м}^3$  (сталь).

*Насыпная плотность*  $\rho_n$  — масса единицы объема рыхло насыпанного зернистого либо волокнистого материала (цемента, песка, гравия, щебня, гранулированной минеральной ваты и т.п.).

*Истинная пористость* — степень заполнения объема материала порами (пузырьками воздуха). Ее можно рассчитать по формуле

$$P_{\text{и}} = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) 100\%, \quad (1.4)$$

где  $\rho_0$  — средняя плотность материала;  $\rho$  — истинная плотность материала.

## 1.2. Свойства, связанные с воздействием воды на материал

*Гигроскопичность*, или *сорбционная влажность*, — свойство капиллярно-пористого материала поглощать воду из окружающего воздуха.

Высокой сорбционной влажностью отличаются материалы растительного происхождения: древесина, торф. Теплоизоляционные, стеновые и другие пористые материалы обладают развитой внутренней поверхностью пор и поэтому также имеют высокую сорбционную способность.

*Водопоглощение* — способность материала, погруженного в воду, впитывать и удерживать ее.

Водопоглощение определяют по объему ( $W_o$ ) и по массе ( $W_m$ ):

$$W_o = \frac{(m_b - m_c)}{V} \cdot 100\%, \quad (1.5)$$

$$W_m = \frac{(m_b - m_c)}{m_c} \cdot 100\%, \quad (1.6)$$

где  $m_b$  — масса образца материала, насыщенного водой;  $m_c$  — масса образца в сухом состоянии;  $V$  — объем образца.

Водопоглощение по массе различных материалов колеблется в широких пределах: гранит — 0,02... 0,70 %, тяжелый бетон — 2... 4 %, кирпич — 8... 15 %, пористые теплоизоляционные материалы — 100 % и более.

Связь между водопоглощением по массе и водопоглощением по объему определяется соотношением

$$W_o = W_m \rho_0, \quad (1.7)$$

где  $\rho_0$  — средняя плотность.

Водопоглощение используют для оценки структуры пор материала, привлекая для этой цели *коэффициент насыщения* пор водой, равный отношению водопоглощения по объему к пористости:

$$k_n = \frac{W_o}{P}, \quad (1.8)$$

где  $P$  — пористость;  $W_o$  — коэффициент насыщения, может изменяться от 0 (все поры в материале закрытые) до 1 (все поры открытые), тогда  $W_o = P$ .

*Водостойкость (коэффициент размягчения)* — отношение прочности материала, насыщенного водой, к прочности сухого материала:

$$k_p = \frac{R_n}{R_c}, \quad (1.9)$$

где  $R_n$  — предел прочности насыщенного водой материала;  $R_c$  — предел прочности сухого материала.

Коэффициент размягчения характеризует водостойкость материала, он изменяется от 0 (глины и др.) до 1 (металлы и др.). Природные и искусственные каменные материалы не применяют в строительных конструкциях, находящихся в воде, если их коэффициент размягчения меньше 0,8.

*Водопроницаемость* — свойство материала пропускать воду под давлением.

*Коэффициент фильтрации* характеризует водопроницаемость материала:

$$k_\phi = V_b \frac{a}{St(p_1 - p_2)}, \quad (1.10)$$

где  $k_\phi$  — коэффициент фильтрации, м/ч;  $V_b$  — объем воды, м<sup>3</sup>, проходящей через стенку площадью  $S = 1$  м<sup>2</sup>, толщиной  $a = 1$  м за время  $t = 1$  ч при разности гидростатического давления на границах стенки  $(p_1 - p_2) = 10$  Па.

*Паропроницаемость* — массоперенос через толщу ограждения при возникновении у поверхностей ограждения разности давления водяного пара.

Паропроницаемость измеряется в  $\frac{\Gamma}{\text{ч} \cdot \text{м} \cdot \text{Па}}$ .

Стеновые материалы должны обладать определенной паропроницаемостью, т.е. стена должна «дышать». В зимнее время водяной пар диффундирует через толщу ограждения и, попадая в его холодную часть, конденсируется при определенной температуре — «точка росы».



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

*Набухание* (разбухание) происходит при насыщении материала водой. Полярные молекулы воды, проникая в промежутки между частицами или волокнами, слагающими материал, как бы расклинивают их, при этом утолщаются гидратные оболочки вокруг частиц, исчезают внутренние мениски и капиллярные силы.

*Морозостойкость*  $F$ ,  $M_{рз}$ , — свойство насыщенного водой материала выдерживать попеременное многократное замораживание и оттаивание без значительной потери массы и прочности. Материал считается выдержавшим испытания на морозостойкость, если у взятых проб потери массы составляют не более 5 % от первоначальной, а потери прочности не более 15 %. Морозостойкость материала оценивается маркой по морозостойкости. Например, легкие бетоны, кирпич, керамические камни для наружных стен зданий обычно имеют морозостойкость  $F_{25}$ ,  $F_{35}$ ,  $F_{50}$ . Бетон, применяемый в строительстве мостов и дорог, должен иметь марки  $F_{50}$ ,  $F_{100}$  и  $F_{200}$ , гидротехнический бетон — до  $F_{500}$ .

### 1.3. Свойства, связанные с воздействием тепла на материал

*Теплопроводность* — перенос энергии из более нагретого участка материала к менее нагретому в силу теплового движения и взаимодействия его микрочастиц. Количество переносимой энергии пропорционально градиенту температур.

Передача теплоты в материале происходит за счет кондукции, конвекции и лучеиспускания. Теплопроводность воздуха и воды различна:  $\lambda_{\text{возд}} = 0,023 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ,  $\lambda_{\text{в}} = 0,52 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

Теплопроводность увеличивается при увеличении влажности материала, его температуры. Она зависит от количества и размера пор: мелкопористые материалы менее теплопроводны, чем крупнопористые (диаметр более 2 мм). Материалы с замкнутыми порами имеют меньшую теплопроводность, чем с сообщающимися.

На практике удобно судить о теплопроводности по средней плотности материала. Формула В. П. Некрасова связывает теплопроводность со средней плотностью каменного материала:

$$\lambda = \sqrt{0,0196 + 0,22\rho_0} - 0,16, \quad (1.11)$$

где  $\rho_0$  — средняя плотность материала;  $\lambda$  — теплопроводность,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

*Теплоемкость* определяется количеством теплоты  $Q$ , которое необходимо сообщить 1 кг данного материала, чтобы повысить его температуру на 1 К:

$$C = \frac{Q}{m(t_1 - t_2)}. \quad (1.12)$$

Теплоемкость неорганических строительных материалов (бетонов, кирпича, природных каменных материалов) изменяется в пределах от 0,75 до 0,92 кДж/(кг · К). Теплоемкость сухих органических материалов (например, древесины) — около 0,7 кДж/(кг · К), вода имеет наибольшую теплоемкость — 4,2 кДж/(кг · К), поэтому с повышением влажности теплоемкость материала возрастает.

*Теплоусвоение* — способность материала аккумулировать теплоту при контакте с другим материалом (телом), характеризуется показателем теплоусвоения,  $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ ,

$$S_{\text{ув}} = 0,51\sqrt{\rho_0 C \lambda}. \quad (1.13)$$

*Огнеупорность* — свойство керамического материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры, не размягчаясь и не деформируясь. Характеристикой огнеупорности является температура огнеупорности  $T_{\text{огн}}$ . По температуре огнеупорности материалы подразделяются на огнеупорные, у которых  $T_{\text{огн}} > 1580$  °С, тугоплавкие —  $T_{\text{огн}} = 1350 \dots 1580$  °С, легкоплавкие —  $T_{\text{огн}} < 1350$  °С.

*Огнестойкость* — свойство материала или конструкции сопротивляться воздействию огня при пожаре в течение определенного времени.

*Негорючие материалы* (НГ) — это бетон и другие материалы на минеральных вяжущих, кирпич керамический, сталь и др.

*Трудногорючие материалы* (Г1, Г2) под воздействием огня или высокой температуры тлеют, но после прекращения воздействия огня их горение и тление прекращается (асфальтобетон, пропитанная антипиренами древесина, фибролит, некоторые пенопласты).

*Горючие материалы* (Г3, Г4), которые горят открытым пламенем, необходимо защищать от возгорания. Широко используют конструктивные меры, исключающие непосредственное воздействие огня на материал в условиях пожара, применяют огнезащитные вещества — антипирены.

## 1.4. Механические свойства

*Упругостью* твердого тела называют его свойство самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешней силы.

Упругая деформация полностью исчезает после прекращения действия внешней силы, поэтому ее принято называть обратимой.

*Пластичностью* твердого тела называют его способность изменять форму и размеры под действием внешних сил не разрушаясь, причем после прекращения действия силы тело не может самопроизвольно восстановить свои размеры и форму, в теле остается некоторая остаточная деформация, называемая пластической деформацией. Пластическую, или остаточную, деформацию, не исчезнувшую после снятия нагрузки, называют необратимой.

Основными характеристиками деформативных свойств строительного материала являются относительная деформация и модуль упругости.

Относительная деформация  $\varepsilon$  равна отношению абсолютной деформации  $\Delta l$  к первоначальному линейному размеру тела  $l$ .

Закон упругости Гука выражает прямую пропорциональность между напряжением и относительной деформацией тела. Модуль упругости (модуль Юнга) связывает упругую деформацию  $\varepsilon$  и одноосное напряжение  $\sigma$  линейным соотношением:

$$E_{\text{упр}} = \frac{\sigma}{\varepsilon}. \quad (1.14)$$

*Прочность* — свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, вызванных внешними силами или другими факторами (стесненная усадка, неравномерное нагревание и т. п.). Прочность материала оценивают пределом прочности (временным сопротивлением)  $R$ , определенным при данном виде деформации. Для хрупких материалов (природных каменных материалов, бетонов, строительных растворов, кирпича и др.) основной прочностной характеристикой является предел прочности при сжатии.

*Предел прочности* — максимальное напряжение, которое способен выдержать материал, не разрушаясь:

$$R_{\text{сж}} = P_{\text{разр}}/F, \quad (1.15)$$

где  $R_{\text{сж}}$  — предел прочности при осевом сжатии;  $P_{\text{разр}}$  — разрушающая сила;  $F$  — первоначальная площадь поперечного сечения образца.

Предел прочности при осевом растяжении  $R_p$  используется в качестве прочностной характеристики стали, бетона, волокнистых и других материалов.

В зависимости от соотношения  $R_p/R_{\text{сж}}$  материалы можно условно разделить на три группы:

- 1)  $R_p > R_{\text{сж}}$  (волокнистые материалы — древесина и др.);
- 2)  $R_p \approx R_{\text{сж}}$  (сталь);
- 3)  $R_p < R_{\text{сж}}$  (хрупкие материалы — природные каменные материалы, бетон, кирпич).

Предел прочности при изгибе определяют путем испытания образца в виде балочек на двух опорах:

$$R_{\text{изг}} = \frac{M}{W}, \quad (1.16)$$

где  $R_{\text{изг}}$  — предел прочности при изгибе, МПа;  $M$  — изгибающий момент;  $W$  — момент сопротивления сечения образца.

Например, в случае использования балочки, лежащей на двух опорах и воспринимающей сосредоточенную нагрузку посередине ее,  $R_{\text{изг}}$  определяется по формуле

$$R_{\text{изг}} = \frac{3 Pl}{2 bh^2}, \quad (1.17)$$

где  $P$  — разрушающая сила;  $l$  — расстояние между опорами;  $b$  — ширина сечения испытуемого материала;  $h$  — высота его сечения.

*Коэффициент конструктивного качества* (к. к. к.) материала равен отношению предела прочности  $R$  к средней плотности  $\rho_0$ :

$$\text{к. к. к.} = R/\rho_0. \quad (1.18)$$

Эффективные материалы имеют высокую прочность при малой средней плотности.

*Твердость* называют свойство материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого, тела. Твердость минералов оценивают шкалой Мооса, представленной десятью минералами. Эта шкала включает в себя минералы в порядке возрастающей твердости от 1 до 10.

1. Тальк —  $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$  — легко царапается ногтем.
2. Гипс —  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — царапается ногтем.
3. Кальцит —  $\text{CaCO}_3$  — легко царапается стальным ножом.
4. Флюорит (плавиковый шпат) —  $\text{CaF}_2$  — царапается стальным ножом под небольшим нажимом.
5. Апатит —  $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{F}$  — царапается ножом под сильным нажимом.
6. Ортоклаз —  $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  — царапает стекло.
7. Кварц —  $\text{SiO}_2$ .
8. Топаз —  $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}, \text{OH})_2$ .
9. Корунд —  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
10. Алмаз —  $\text{C}$ .

Последние четыре минерала легко царапают стекло и применяются в качестве абразивных (стирающих и шлифующих) материалов.

Твердость древесины, металлов, бетона и некоторых других строительных материалов определяют, вдавливая в них стальной шарик или твердый наконечник (в виде конуса или пирамиды). В результате испытания определяют число твердости

$$T = P/F, \quad (1.19)$$

где  $P$  — нагрузка;  $F$  — площадь поверхности отпечатка.

Чем выше твердость, тем меньше истираемость.

*Истираемость* оценивают потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания  $F$ , при испытании на круге истирания, она характеризует способность материала сопротивляться действию касательных (истирающих) усилий:

$$И = (m_1 - m_2)/F, \quad (1.20)$$

где  $И$  — истираемость, г/см<sup>2</sup>;  $m_1$  и  $m_2$  — масса образца до и после истирания соответственно, кг.

*Износ* — свойство материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и ударов.

*Сопротивление удару* — способность материала сопротивляться действию удара падающего груза. Для определения прочности материалов при ударе применяются специальные копры.

При испытании природных материалов масса падающего груза равна 2 кг. Высота падения — 1 ... 90 см. Испытуемые образцы — цилиндры высотой 3 см и диаметром 2 см.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На какие свойства строительных материалов оказывает влияние пористость?
2. Как и почему размер и степень замкнутости пор влияют на свойства строительных материалов?
3. На какие свойства и как влияет увлажнение материала?
4. Как и почему величина теплоемкости стенового материала влияет на качество ограждения и микроклимат помещения?
5. Какие факторы влияют на теплопроводность материала?
6. Чем отличается огнеупорность от огнестойкости?
7. В чем различие между прочностью и твердостью?
8. Чем различаются характер разрушения хрупкого и пластичного материала при сжатии и растяжении?
9. Чем различаются пластичность, упругость и хрупкость?
10. Какое свойство материала является определяющим в его стойкости к воздействию истирания?