

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. учреж-
А878 дений высш. проф. образования/[Ю. М. Тихонов, Ю. П. Па-
нибратов, 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 ρ — истинная плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; m — масса сухого материала, кг ; V_a — его абсолютный объем или объем в плотном состоянии (без пор), м^3 .

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

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

где ρ_0 — средняя плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; m — масса материала, кг ; V — его объем вместе с порами, м^3 .

Средняя плотность материала в сухом и влажном состоянии связана отношением

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

где ρ_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 ρ_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 ρ_0 — средняя плотность материала; ρ — 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 ρ_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_ϕ — коэффициент фильтрации, м/ч; V_b — объем воды, м³, проходящей через стенку площадью $S = 1$ м², 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 ρ_0 — средняя плотность материала; λ — 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, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$,

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

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 ε равна отношению абсолютной деформации Δl 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 ε и одноосное напряжение σ 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 ρ_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 — CaCO_3 — легко царапается стальным ножом.
4. Флюорит (плавиковый шпат) — 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 — SiO_2 .
8. Топаз — $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}, \text{OH})_2$.
9. Корунд — Al_2O_3 .
10. Алмаз — 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/см²; 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?