

**Донбасская национальная академия строительства и архитектуры**

**Кафедра «Автомобильные дороги и аэродромы»**

**Лекция СМ-02**  
**Свойства строительных**  
**материалов**

Лектор доктор технических наук, профессор  
Братчун Валерий Иванович

# ПЛАН ЛЕКЦИИ

Предисловие

1. Физические свойства
2. Механические свойства
3. Химические свойства
4. Эксплуатационные свойства
5. Технологические свойства
6. Стандартизация дорожно-строительных материалов

# ПРЕДИСЛОВИЕ

В обобщенном смысле существует несколько определений «свойство».

**Свойство материала** – это его отличительная особенность, проявляющаяся во взаимодействии с условиями окружающей среды или какими-либо веществами.

**Свойства материала** – это показатели, измеряемые инструментально, с помощью которых можно оценить взаимодействие материала с окружающей средой, которое исключительно сложно и многообразно и включает в себя проявление физических, механических и химических законов. В соответствии с этим свойства материалов делят на физические, химические, механические и технологические.

**Отличие понятий «свойство» и «показатель свойства»** заключается в том, что свойство – общая характеристика всех материалов, для которых она актуальна, а показатель свойства – конкретное числовое выражение свойства в определенных единицах измерения – специфичен для группы или даже для одного конкретного материала.

# 1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

**Физические свойства** характеризуют физическое состояние материала (фазовое состояние, плотность, структуру), а также определяют его отношение к физическим процессам окружающей среды. При этом физические процессы в материале не изменяют строение его молекул. Обычно к таким свойствам относят истинную и среднюю плотности, пористость, теплопроводность, теплоемкость, звукопроницаемость, влажность, водопроницаемость, водопоглощение, усадку, огнеупорность, светостойкость, электросопротивление и др.

**Истинная плотность  $\rho$**  — это масса единицы объема материала в «абсолютно» плотном состоянии (без пор, пустот), чаще всего ее определяют в г/см<sup>3</sup>.

Почти все строительные материалы имеют пористое строение, за исключением стекла, кварца, ситалла, стали и некоторых других, которые можно считать «абсолютно» плотными. Поэтому, чтобы определить «абсолютный» объем исследуемого твердого материала, его высушивают до постоянной массы  $m_c$  и тонко измельчают.

Полученный порошок засыпают в специальный прибор (пикнометр или объёмомер), заполненный инертной жидкостью по отношению к веществу, которое испытывается (водой, бензином, керосином), и по объему вытесненной им жидкости устанавливают «абсолютный» объем материала  $V_a$ .

Истинную плотность рассчитывают по формуле:

$$\rho = m_c / V \quad (1.1)$$

Для жидких и вязких строительных материалов (жидкое стекло, растворы химических добавок и др.)  $\rho$  определяют с помощью ареометра, погружая его в жидкость и фиксируя уровень жидкости по шкале ареометра.

Для большинства природных и искусственных строительных материалов истинная плотность составляет 2,4-3,3 г/см<sup>3</sup> (за исключением металлов), а для органических материалов — 0,8-1,6 г/см<sup>3</sup>.

**Средняя плотность  $\rho_m$**  — это масса единицы объема материала в естественном состоянии (вместе с порами и пустотами):

$$\rho_c = m / V \quad (1.2)$$

Средняя плотность чаще всего измеряется в кг/м<sup>3</sup>, однако можно также использовать единицы г/см<sup>3</sup> и т/м<sup>3</sup>.

В случае необходимости среднюю плотность устанавливают для материалов, которые находятся в любом состоянии: увлажненном, воздушно сухом или сухом (для точного определения материал высушивают до постоянной массы).

Среднюю плотность сыпучих материалов (например, цемента, извести, песка, щебня, гравия) называют насыпной плотностью и определяют в мерном цилиндре.

**Насыпная плотность  $\rho_n$**  – это отношение массы сыпучего материала к его объему, включая пространство между частицами. Например, для кварцевого песка насыпная плотность составляет  $\rho_n = 1450-1600 \text{ кг/м}^3$ , в то время как истинная -  $\rho = 2500-2650 \text{ кг/см}^3$ .

Средняя плотность зависит от химического и минералогического состава материала, но в большей степени — от размера и количества пор и пустот, чем их больше, тем легче материал.

Средняя плотность имеет большое практическое значение при определении объемов транспортировки и складирования материалов, прочности конструкций. Она тесно связана с другими свойствами строительных материалов (пористостью, прочностью, теплопроводностью, водонепроницаемостью), что дает возможность, ориентируясь на показатель  $\rho_m$ , определять рациональные области их использования в строительстве.

**Пористость  $\Pi$**  - это степень заполнения объема материала порами. Ее выражают в процентах или в долях единицы (когда общий объем материала принимают за единицу).

**Истинная или общая пористость  $\Pi_u$**  - это суммарный объем всех пор (открытых и закрытых) по отношению к общему объему материала. Ее можно оценивать в долях единицы или в процентах, пользуясь формулой:

$$\Pi_u = \frac{\rho - \rho_m}{\rho} 100 \quad \% \quad (1.3)$$

Значения  $\Pi_u$  изменяются в таких пределах, %: стекло, сталь - 0; кирпич керамический - 30-40; гранит, липарит - 0,2-0,8; тяжелый бетон - 5-20; легкий бетон - 35-85; поропласт - 85-95. Сравнение истинной пористости некоторых материалов приведено на рис. 1.1

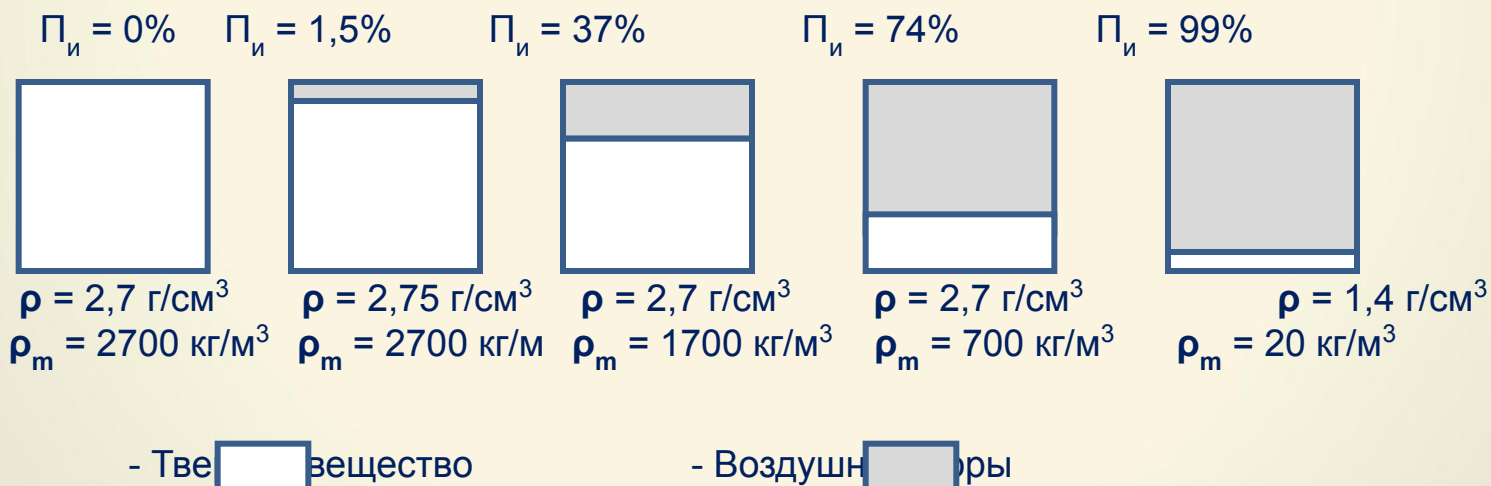


Рис. 1.1. Сравнение общей пористости некоторых материалов

Открытая, или кажущаяся, пористость  $\Pi_o$  — относительный объем пор материала, которые соединяются с внешней средой; ее можно определить как отношение суммарного объема всех пор, насыщенных водой, к общему объему материала:

$$\Pi_o = \frac{m_n - m_c}{V} \cdot \frac{1}{\rho_e} \cdot 100\% \quad (1.4)$$

где  $m_n$ ,  $m_c$  — масса материала соответственно в насыщенном водой и в сухом состоянии, г;  $\rho_e$  — плотность воды, г/см<sup>3</sup>;  $V$  - объем материала в естественном состоянии, см<sup>3</sup>.

Закрытая пористость  $\Pi_z$  - относительный объем пор материала, которые не соединяются с внешней средой:

$$\Pi_z = \Pi_u - \Pi_o \quad (1.5)$$

Пористость является важной характеристикой, поскольку с ней связаны такие технические свойства материала, как прочность, водопоглощение, морозостойкость, теплопроводность и др. Легкие пористые материалы имеют обычно небольшую прочность и большое водопоглощение, плотные ( $\Pi_n = 0 - 0,8\%$ ) - значительную прочность и незначительное водопоглощение.

Однако, кроме количества пор в материале, на его свойства существенно влияет также характер пористости. Материалы могут быть крупнопористыми (размеры пор от 10<sup>-1</sup> до 3 мм) и мелкопористыми (размеры пор 10<sup>-2</sup> - 10<sup>-6</sup> мм). Поры могут быть закрытыми (то есть недоступными для заполнения водой) и открытыми.



**Пустотность** характеризуется наличием пустот в строительных изделиях (пустотелый кирпич, панели) или между зернами в сыпучих материалах (песок, щебень) и выражается в процентах от общего объема изделия или материала.

Чем больше пустотность изделий, тем меньше масса строительных конструкций и лучше их теплозащитные свойства.

Пустотность можно рассчитать по тем же формулам, что и пористость, например, для песка вместо  $\rho_m$  нужно брать насыпную плотность, для щебня и гравия вместо  $\rho$  и  $\rho_m$  - среднюю плотность зерна и насыпную плотность заполнителя, а для изделий вместо  $\rho$  — среднюю плотность изделия.

Например, межзерновая пустотность для щебня и песка составляет 35-45%, а пустотность для керамического пустотелого кирпича — 15-50%.

**Водопоглощение** — свойство материала впитывать и удерживать в своей структуре воду. Чтобы определить водопоглощение, образец материала постепенно погружают в воду и держат там до достижения им постоянной массы.

Полное водонасыщение материала (до окончательного заполнения доступных для воды пор) достигается его кипячением с последующим охлаждением в воде или под вакуумом.

**Водопоглощение по массе  $W_m$**  определяют как отношение количества поглощенной воды  $m_g$  к массе сухого материала  $m_c$ :

$$W_m = \frac{\Delta m_g}{m_c} \cdot 100 \% = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100 \% \quad (1.6)$$

где  $m_n$ ,  $m_c$  – массы материала в насыщенном водой и сухом состоянии, г.

**Водопоглощение по объему  $W_o$**  характеризуется степенью заполнения пор материала водой при насыщении и выражается отношением объема поглощенной воды  $V$  к объему материала в естественном состоянии  $V$ :

$$W_o = \frac{V_g}{V_c} \cdot 100 \% = \frac{m_n - m_c}{\rho \cdot V} \cdot 100 \% \quad (1.7)$$

где  $\rho$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>.

Сравнение водопоглощения некоторых материалов приведено на рис. 1.2.

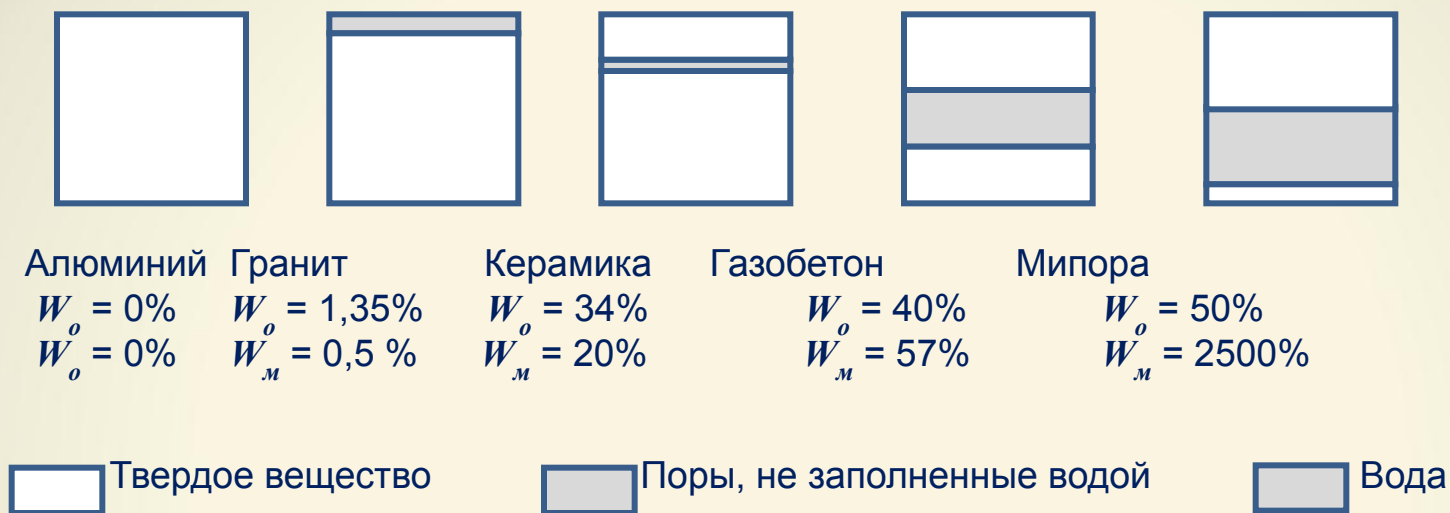


Рис. 1.2. Сравнение водопоглощения некоторых материалов

Отношение водопоглощения по объему и по массе численно равно относительной плотности строительного материала:

$$\frac{W_o}{W_m} = \frac{(m_n - m_c) / V \cdot \rho_v}{(m_n - m_c) / m_c} = \frac{(1 \cdot m_c)}{V \cdot \rho_v} = \frac{\rho_m}{\rho_v} = d,$$

отсюда  $W_o = W_m \cdot d.$  (1.8)

Водопоглощение по объему всегда меньше 100%, а водопоглощение по массе для материалов с открытой пористостью может превышать 100%, что характерно, например, для пенополиуретана.

Таким образом, водопоглощение материала по массе связано с показателем средней плотности, зависит от характера пористости и колеблется в широких пределах для разных строительных материалов, например, для керамического кирпича - 8-20%, тяжелого бетона – 2-6%, известняка – 1,5-3%, гранита – 0,02-0,70%.

Насыщение материалов водой существенно отражается на других свойствах: повышается средняя плотность, теплопроводность, снижается прочность, морозостойкость.

**Влажность  $W$**  — содержание свободной воды в порах и на поверхности материала. Влажность определяют в процентах по массе или по объему. Она может быть абсолютной или относительной.

**Абсолютную влажность  $W_{абс}$**  определяют как отношение массы влаги, которая находится в материале, к массе сухого материала:

$$W_{абс} = \frac{m_в - m_c}{m_c} \cdot 100\%, \quad (1.9)$$

а **относительную влажность  $W_{отн}$**  — как отношение массы влаги к массе материала во влажном состоянии:

$$W_{отн} = \frac{m_в - m_c}{m_в} \cdot 100\%, \quad (1.10)$$

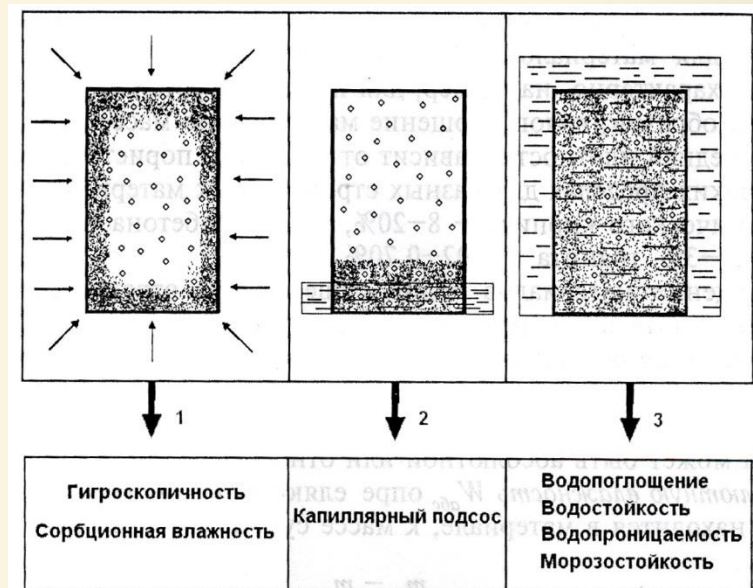
где  $m_в$ ,  $m_c$  — массы соответственно влажного и сухого материала, г.

**Гигроскопичность** — это способность материала поглощать и конденсировать водяной пар из воздуха. Впитывание влаги из воздуха, известное как сорбция, обуславливается адсорбцией водяного пара на внутренней поверхности пор и капиллярной конденсацией. Когда этот процесс сопровождается химическим взаимодействием с материалом, его называют **хемосорбцией**. Последняя может быть вредной. Например, портландцемент при длительном хранении, в результате хемосорбции, постепенно комкуется и теряет свою активность.

**Сорбционную влажность**  $W_{сорб}$  определяют в процентах, как отношение максимально возможного количества влаги, поглощенной из воздуха сухим материалом, к его массе в сухом состоянии:

$$W_{сорб} = \frac{m_{сорб} - m_c}{m_c} \cdot 100\%, \quad (1.11)$$

где  $m_{сорб}$  — массы материала после достижения равновесной влажности;  $m_c$  — масса материала в сухом состоянии.



**Рис. 1.3. Проявление гидрофизических свойств материала в различных условиях эксплуатации:** 1 – воздействие влажного воздуха; 2 – частичное погружение в воду; 3 – полное погружение в воду

Капиллярно-пористые материалы, в результате адсорбции и капиллярной конденсации водяного пара из воздуха, могут содержать значительное количество даже при длительном пребывании на воздухе. Например, равновесная влажность по массе древесины составляет 12-18%, а стеновых материалов – 5-7 масс. %.

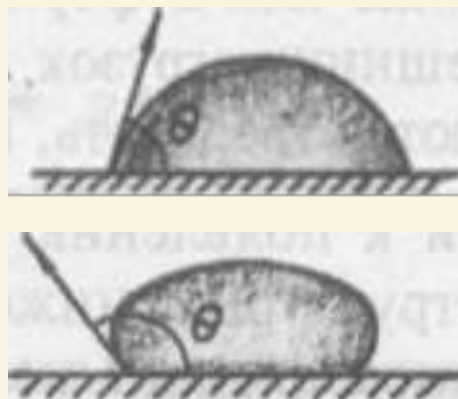
$$W_{\text{сорб}} = \frac{m_{\text{сорб}}}{m_c} (1.4.1) 0\%,$$

**Влагоотдача** (скорость высыхания) - это способность материала отдавать воду при изменении температуры и влажности окружающей среды. Эта способность характеризуется интенсивностью потери влаги за сутки при относительной влажности окружающего воздуха 60% и температуре 20°С (293,15 К).

Когда материал обдувается сухим воздухом, влага диффундирует из материала, количество ее снижается до тех пор, пока не наступит равновесие между показателями влажности материала и окружающего воздуха. Материал в таком состоянии характеризуется как воздушно-сухой.

**Гидрофильность** — это способность материала смачиваться водой. Основной причиной гидрофильности большинства строительных материалов является химическая природа их поверхности. Степень смачиваемости твердого тела характеризуется краевым углом, который образуется поверхностью капли жидкости с поверхностью твердого тела (рис. 1.3). Краевой угол может изменяться от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Если  $\theta = 0^\circ$ , то жидкость полностью смачивает тело, значение  $\theta = 180^\circ$  свидетельствует о полной несмачиваемости. Для гидрофильных материалов краевой угол будет острым ( $\theta < 90^\circ$ ), а для гидрофобных - тупым ( $\theta > 90^\circ$ ).

Почти все строительные материалы являются гидрофильными, и открытые поры легко заполняются водой. Это не касается водонепроницаемых материалов, которые не пропитываются водой независимо от того, какие свойства имеет их поверхность.



**Рис. 1.4. Положение капли жидкости на поверхности:**  
а – гидрофильной; б – гидрофобной

**Гидрофобность** — это способность материала не смачиваться водой (отталкивать воду). Проникновение воды сквозь поры, которые имеют гидрофобную внутреннюю поверхность, весьма затруднено, хотя они легко пропускают воздух и водяной пар. Гидрофобность материалов определяется в первую очередь химической природой их поверхности и жидкости, которая смачивает ее. К гидрофобным материалам относятся парафин, смазочные масла, битум и др.

Для повышения способности материалов отталкивать воду их поверхность обрабатывают гидрофобизаторами (специальными поверхностно-активными веществами). Гидрофобизация способствует повышению водонепроницаемости, водо- и морозостойкости, сохранению цвета и фактуры строительных материалов.

**Деформации усадки или набухания** являются следствием способности материала изменять свой объем с изменением влажности, которая может быть причиной структурных напряжений в материале.

**Набухание** - свойство материала увеличивать объем в результате впитывания воды, рассчитывается в долях единицы или процентах от начального объема материала.

С уменьшением влажности некоторые материалы дают усадку, то есть уменьшаются в объеме (например, паркет), поскольку частицы материала сближаются под действием капиллярных сил. Значительная усадка свойственна высокопористым материалам с мелкими порами, например, усадка древесины (поперек волокон) составляет 30-100 мм/м, ячеистого бетона - 1-3 мм/м; тяжелого бетона - 0,3-0,7 мм/м; керамического кирпича – 0,03-0,10 мм/м. Изменение объема материалов следует учитывать, выбирая условия их хранения и использования в строительстве.



## 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Механические свойства характеризуют способность материала оказывать сопротивление разрушению или деформациям (изменение формы и размеров) под действием внешних нагрузок.

Таковыми свойствами являются твердость, прочность, упругость, растяжимость, пластичность, хрупкость. При эксплуатации сооружений строительные материалы испытывают действие различных внешних факторов, которые могут привести к появлению трещин, изменению начальной формы без изменения структуры, снижению прочности и других явлений, связанных с изменением физико-механических свойств.

**Прочность** — это способность материала оказывать сопротивление разрушению внутренним напряжениям, которые возникают под действием внешних нагрузок. В процессе эксплуатации зданий и сооружений строительные материалы чаще всего испытывают напряжения сжатия, изгиба, растяжения, среза и удара.

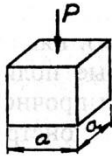

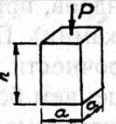
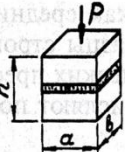
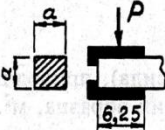
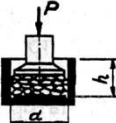

Строительные материалы неодинаково воспринимают различные нагрузки. Это зависит от химического и минералогического составов материала, структуры и строения. Так, природные каменные материалы, кирпич и бетон хорошо работают на сжатие, но плохо на растяжение и изгиб. На растяжение они выдерживают нагрузку в 10-15 раз меньшую, чем на сжатие. Поэтому такие материалы применяют преимущественно в конструкциях, которые работают в основном на сжатие (колонны, стены). Материалы с волокнистыми наполнителями имеют повышенную прочность на изгиб, показатель которой по сравнению с прочностью на сжатие меньше всего лишь в 1,5-3 раза (например, асбестоцементные кровельные изделия). Ряд строительных материалов, например, древесина, сталь, некоторые полимерные материалы (стеклопластики) имеют высокие показатели прочности на сжатие и изгиб, поэтому их применяют в таких несущих конструкциях, как балки, фермы, трубы.

**Предел прочности при сжатии  $R_{сж}$**  определяют обычно на образцах в форме кубов, цилиндров, призм, а также на натуральных образцах (керамические пустотелые камни). При испытании образцов материала в форме кубов показатель прочности зависит от масштабного фактора (прочность малых кубиков выше, чем больших). Поскольку строительные материалы неоднородны, то предел прочности определяется как средний результат испытания серии образцов (не меньше трех). Образцы строительных материалов испытывают, как правило, на гидравлических прессах до разрушения, а предел прочности при сжатии, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (2.1)$$

где  $P$  – нагрузка (сила), приводящая к разрушению образца, МН;  
 $F$  – площадь, поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>.

## Схемы стандартных методов определения прочности при сжатии

Материал	Образец	Размеры стандартного образца, см	Схема испытания	Расчетная формула
Бетон Строительный раствор Природный камень	Куб	15×15×15 7,07×7,07×7,07  5×5×5; 10×10×10; 15×15×15; 20×20×20		$R_{сж} = \frac{P}{a^2}$
Бетон Природный камень	Цилиндр	$d = 15; h = 30$ $d = h = 5; 7; 10; 15$		$R_{сж} = \frac{4P}{\pi d^2}$
Бетон Древесина	Призма	$a = 10; 15; 20;$ $h = 40; 60; 80$  $a = 2; h = 3$		$R_{пр} = \frac{P}{a^2}$
Кирпич	Составной образец	$a = 12; \sigma = 12,5;$ $h = 14$		$R_{сж} = \frac{P}{F}$
Цемент	Половинки образца-призмы, изготовленной из цементно-песчаного раствора	$F = 25 \text{ см}^2$ ( $a = 4 \text{ см}$ )		$R_{сж} = \frac{P}{F}$
Плотный крупный заполнитель для бетона	Проба щебня (гравия) в цилиндре	$d = 15; h = 15$		$D_p = \frac{m - m_1}{m_1} \cdot 100$
Пористый крупный заполнитель для бетона	Проба щебня (гравия) в цилиндре	$d = 15; F = 177 \text{ см}^2$		$R_{сд} = \frac{P}{F}$

**Предел прочности при изгибе  $R_{изг}$**  определяют на образцах-балочках квадратного или прямоугольного сечения, размеры которых установлены соответствующими стандартами, а также на натуральных образцах (кирпич, черепица, асбестоцементные листы).

Испытания на изгиб выполняют по схеме балки, установленной на двух опорах при сосредоточенной нагрузке, прилагаемой симметрично относительно оси балки, до ее разрушения. Предел прочности при изгибе, МПа, если нагрузка сосредоточена и приложена в центре, рассчитывается по формуле:

$$R_{изг} = (2.2) \frac{3Pl}{2bh^2},$$

Если две нагрузки прилагаются симметрично относительно оси балки, то

$$R_{изг} = (2.3) \frac{3P(l-a)}{2bh^2},$$

где  $P$  – нагрузка, приводящая к разрушению образца, МН;  $l$  – расстояние между опорами, м;  $b$ ,  $h$  – высота и ширина поперечного сечения образца, м;  $a$  – расстояние между точками приложения двух нагрузок, м.

**Предел прочности при растяжении  $R_p$**  определяют с помощью специальных приборов и машин, применяя изготовленные из испытываемого материала образцы установленной формы и размеров (призм, круглых стержней, стержней прямоугольного сечения, «восьмерок», полос), в зависимости от вида строительного материала. Образцы закрепляют в захватах приборов и подвергают растяжению до момента разрыва.

Для каменных материалов, металлов, древесины и других материалов предел прочности при растяжении, МПа

$$R_p = \frac{P}{F},$$

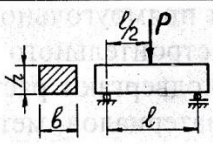
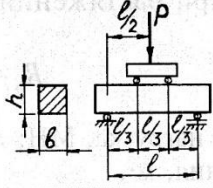
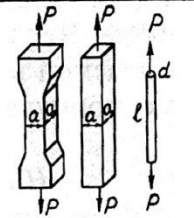
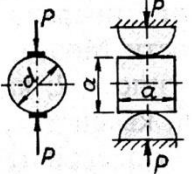
(2.4)

где  $P$  — разрушающая нагрузка, МН;  $F$  — площадь сечения образца в самом тонком месте до испытания, м<sup>2</sup>.

## Прочность некоторых строительных материалов

Материал	Предел прочности, МПа		
	при сжатии	при изгибе	при растяжении
Бетон тяжелый	15-80	0,5-10	1-4
Известняк плотной структуры	10-150	7	0,5-4,0
Гранит	100-250	14	8
Плиты древесноволокнистые	-	0,4-20,0	-
Стеклопластик	250-400	240-550	220-350
Сосна вдоль волокон	30-65	60-120	70-130
Сталь	-	-	380-450
Кирпич керамический	7,5-30	1,5-5,0	0,8-3,0
Шлакоситалл	500-600	90-120	25-35

### Схемы стандартных методов определения прочности на изгиб и растяжение

Материал	Образец	Размеры стандартного образца, см	Схема испытания	Расчетная формула
<b>Испытание на изгиб</b>				
Цемент Древесина Кирпич	Призма  Кирпич (натурный образец)	4x4x16 2x2x30; $l = 24$ 12x6,5x25; $l = 20$		$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2}$
Бетон Древесина	Призма	15x15x60; $l = 45$ 2x2x30; $l = 25$		$R_{изг} = \frac{Pl}{bh^2}$
<b>Испытание на растяжение</b>				
Бетон Сталь	«Восьмерка», призма  Стержень	10x10x80 5x5x50;  $d = 1$ ; $l = 5$ ; $l \geq 10 d$		$R_p = \frac{P}{a^2}$ $R_p = \frac{4P}{\pi dl}$
Бетон	Цилиндр, куб	$d = 15$ ; 15x15x15		$R_p = \frac{2P}{\pi dl}$ $R_p = \frac{0,52P}{a^2}$



Для сравнительной оценки эффективности разных материалов используют **коэффициент конструктивного качества, Кк.к**, МПа, который характеризуется отношением предела прочности при сжатии или растяжении к относительной плотности:

$$K.k.k = R/d \quad (\text{для материалов с различными видами структур, кроме ячеистой}); \quad (2.5)$$

$$K.k.k = R/d^2 \quad (\text{для материалов ячеистой структуры}); \quad (2.6)$$

Самыми эффективными являются материалы, которые совмещают в себе легкость и прочность. Например, усредненные значения *К.к.к*, МПа, составляют: для кирпича – 11, тяжелого бетона – 21, стали – 52, сосны – 95, СВАН (разновидность стеклопластика) – 225. Чем выше значение *К.к.к*, тем более эффективным является конструкционный материал.

**Твердость** – это способность материала оказывать сопротивление местным деформациям, возникающим при вдавливании в него другого, более твердого тела. Твердость материалов не всегда отвечает их прочности, то есть при разной прочности твердость их может быть одинаковой.

Твердость металлов, бетона, древесины и некоторых других материалов определяют, вдавливая в образцы с определенным усилием стальной шарик или наконечник (конус, пирамиду). Степень твердости устанавливают по размеру отпечатка. Число твердости по Бринеллю (НВ) определяют отношением прилагаемой нагрузки *P* к площади поверхности отпечатка *F* и вычисляют по формуле, МПа:

$$HB = P/F . \quad (2.7)$$

Степень твердости минералов горных пород определяют по шкале сравнительной твердости Мооса, которая состоит из десяти минералов- эталонов: тальк — 1; гипс — 2; кальцит - 3; плавиковый шпат - 4; апатит — 5; ортоклаз — 6; кварц — 7; топаз — 8; корунд — 9; алмаз — 10.

**Истираемость** – это свойство материала оказывать сопротивление истиранию, которое зависит от твердости материала, характеризуется уменьшением массы на единицу площади поверхности образца и определяется по формуле, кг/м<sup>2</sup>:

$$U = \frac{m_1 - m_2}{F} \quad (2.8)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы образца до и после истирания, кг;  $F$  – площадь истираемой поверхности, м<sup>2</sup>.

Показатель истираемости имеет решающее значение при выборе материалов для полов, дорожных покрытий и др.

Истираемость строительных материалов зависит также от их состава и структуры, например для кварцита – 0,6-1,2; гранита – 1-5; клинкерного кирпича – 2,2-4,3; керамической плитки для полов – 2,5-3; известняка – 3-8; цементного раствора – 6 -15 кг/м<sup>2</sup>.

**Ударная прочность  $R_{y\partial}$** , Дж/м<sup>3</sup> – это способность материала противодействовать разрушению при кратковременной нагрузке ударного характера, характеризуется работой, расходуемой на разрушение образца материала, отнесенной к единице объема материала, вычисляется по формуле:

$$R_{y\partial} = \frac{nqh}{V}, \quad (2.9)$$

где  $n$  – количество ударов;  $q$  – вес гири, Н;  $h$  – высота ее падения;  $V$  – объем образца, м<sup>3</sup>.

**Соппротивление износу** определяют преимущественно для дорожных материалов, а также для материалов полов, которые в процессе эксплуатации испытывают одновременное действие истирания и ударов. Износ определяют в специальных барабанах с шарами по потере массы загруженного в прибор материала (процент к начальной массе).

**Деформативные свойства.** Под действием внешних сил в строительных конструкциях возникают деформации разного происхождения. К деформативным свойствам материалов относят упругость, пластичность, хрупкость.

**Упругость** - это способность твердого тела деформироваться под действием внешних сил и самопроизвольно восстанавливать начальную форму и объем после прекращения действия нагрузки. Начальная форма может возобновляться полностью или частично. Упругую деформацию, которая полностью исчезает после снятия внешних сил, называют обратимой. Если форма тела возобновляется частично, то имеют место остаточные деформации. Для некоторых высокоэластичных материалов (эластомеры), например, каучука, упругая деформация может превышать 100%, то есть объем материала после снятия нагрузки может быть больше начального.

**Модуль упругости  $E$** , МПа, характеризует жесткость материала, то есть способность его деформироваться под действием внешних сил. Чем выше энергия межатомных связей в материале, тем меньше склонен он к деформации и тем выше его модуль упругости. Например, для железа  $E = 21,1 \cdot 10^4$ , алюминия -  $7 \cdot 10^4$ , свинца -  $1,5 \cdot 10^4$ , полистирола -  $0,3 \cdot 10^4$ , каучука -  $0,007 \cdot 10^4$  МПа.

**Пластичность** — это свойство материала изменять без разрушения форму и размеры под воздействием нагрузки или внутренних напряжений, сохраняя полученную форму и размеры после прекращения этого влияния. Такие пластические (остаточные) деформации называют необратимыми. Пластичность некоторых строительных материалов изменяется под действием температуры: при нагревании повышается, при охлаждении снижается. К таким материалам принадлежат битумы, некоторые сорта стали и ряд полимерных материалов.

**Хрупкость** - это свойство твердых материалов разрушаться под действием механических напряжений, которые в них возникают, без заметной пластической деформации. Это свойство противоположно пластичности. Для хрупких материалов характерно слабое сопротивление ударной нагрузке, а также большой разброс показателей прочности при сжатии и растяжении. Например, для плотных и прочных каменных (природных) материалов  $R_p = (1/40-1/60) \cdot R_{сж}$ . К хрупким материалам принадлежат также стекло, чугун, бетон и некоторые полимерные материалы.

Хрупкость и пластичность строительных материалов могут изменяться не только под действием температуры, а также с изменением влажности и скорости наращивания нагрузки, которая действует на них. Например, глина в сухом состоянии является хрупкой, а в увлажненном (глиняное тесто) — пластичной.

**Ползучесть** — это свойство материалов медленно и непрерывно деформироваться под воздействием постоянной нагрузки. Для некоторых материалов (бетона, гипсовых, асбестоцементных изделий) эта способность наблюдается при обычных температурах, для металлов — при повышенных.

### 3. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

**Химические свойства** характеризуют способность материалов к химическим превращениям при взаимодействии с веществами, которые контактируют с ними. К ним относятся: растворимость, кислотостойкость, щелочестойкость, коррозионная стойкость, биокоррозия и др.

**Растворимость** — способность материала растворяться в воде, масле, бензине, скипидаре и других веществах-растворителях. Растворимость может оказывать положительное и отрицательное влияние на свойства материала.

**Кислотостойкость** - это способность материала (изделия) оказывать сопротивление действию растворов кислот или их смесей в пределах, установленных нормативными документами. Она оценивается по потере массы опытных образцов, выдерживаемых в растворе кислоты определенной концентрации.

Время выдерживания, концентрация кислот и другие параметры испытания регламентируются соответствующими нормативными документами. Например, кислотостойкость канализационных керамических труб составляет не меньше 92% (то есть потери масс. % до 8), а шлакоситаллов - до 99%.

**Щелочестойкость** - это способность материала (изделия) оказывать сопротивление действию щелочей в пределах, установленных нормативными документами.

Методика определения щелочестойкости такая же, как и кислотостойкости. Если в составе материала преобладают основные оксиды, то он обычно является щелочестойким, но вступает во взаимодействие с кислотами и может разрушаться. Если строительный материал имеет значительное содержание диоксида кремния (кремнезема), то он является кислотостойким, но реагирует с основными оксидами.

Для условной оценки стойкости каменных материалов из горных пород в кислых и щелочных средах, применяют модуль основности  $M_o$ .

$$M_o = \frac{CaO + MgO + Na_2O(K_2O)}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad (2.10)$$

**Коррозионная стойкость** - это способность материала не разрушаться под воздействием различных веществ в процессе эксплуатации.

Коррозионному разрушению подвержены не только металлы, но и каменные материалы, бетоны, пластмассы, древесина. Коррозия обусловлена химическими и электрохимическими процессами, которые происходят в твердых телах при взаимодействии с внешней средой.

Основными агрессивными агентами, вызывающими коррозию строительных материалов, являются: пресная и минерализованная воды, газы ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ), которые образуются в результате работы предприятий и автотранспорта. На промышленных предприятиях коррозию строительных материалов часто вызывают более сильные агенты: растворы щелочей и кислот, расплавы материалов и горячие газы.

Особенным видом коррозии является биокоррозия - разрушение материала под действием живых организмов (грибов, микробов, насекомых).

**Биокоррозия** — это не только гниение органических материалов (древесины, битума), но и разрушение природного камня, бетона и металла продуктами жизнедеятельности микроорганизмов.

Коррозия опасна не столько химическими изменениями в материале, сколько связанными с ними изменениями физико-механических характеристик эксплуатируемых конструкций.



## 4. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

**Долговечность** строительных материалов предопределяется их физическими, механическими, а также эксплуатационными свойствами. Эксплуатационными (специальными) называются свойства материалов, связанные со специфическими условиями эксплуатации и воздействием их на окружающую среду. Различают химическую, термические, акустические, экологические, декоративные и другие свойства.

К свойствам, предопределяющим стабильность физико-механических характеристик материалов в различных условиях эксплуатации, относятся водостойкость и морозостойкость.

**Водостойкость** — это способность материала сохранять физико-механические свойства в насыщенном водой состоянии, характеризуется коэффициентом размягчения  $K_p$  (или коэффициентом водостойкости). Этот показатель определяется отношением прочности насыщенного водой материала  $R_H$  к его прочности в сухом состоянии  $R_C$ :

$$K_p = \frac{R_H}{R_C},$$

Водостойкими считаются строительные материалы с коэффициентом размягчения выше 0,8. Это значит, что каменные природные и искусственные материалы с  $K_p < 0,8$  нельзя применять в местах с повышенной влажностью.

Некоторые материалы при увлажнении теряют прочность и деформируются (глиняный кирпич-сырец имеет  $K_p = 0$ ); такие, например, как стекло, сталь не изменяют прочности ( $K_p = 1$ ), а цементный бетон может даже повышать ее.

**Морозостойкость** — это способность материала выдерживать в водо насыщенном состоянии многократное попеременное замораживание и оттаивание без существенных потерь прочности и массы.

Для большинства строительных материалов допустимые потери прочности и массы после испытания на морозостойкость приведены в соответствующих нормативных документах.

Под действием отрицательных температур вода в крупных порах замерзает, превращаясь в лед с увеличением объема приблизительно на 9%. Это приводит к возникновению давления на стенки пор, которое составляет около 210 МПа при температуре  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этом в материале возникают внутренние напряжения, которые могут повлечь его разрушение, особенно, если коэффициент водопоглощения приближается к единице, то есть все поры открыты.

Чтобы определить морозостойкость, образцы материала насыщают водой, а потом подвергают попеременному замораживанию при температуре  $(18\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$  и оттаиванию в воде при температуре  $(18\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$  до начала появления видимых признаков разрушения образцов или определенное число циклов, установленное нормативными документами. Цикл испытания состоит из одного замораживания и оттаивания образцов на протяжении определенного времени.

По морозостойкости строительные материалы разделяют на марки.

Марка по морозостойкости  $F$  — это число циклов попеременного замораживания и оттаивания целых изделий или образцов из материалов в насыщенном водой (или раствором солей) состоянии при сохранении ими начальных физических и физико-механических свойств в нормируемых пределах.

В зависимости от назначения к материалам предъявляют разные требования относительно морозостойкости. Например, рядовой кирпич должен иметь марку не меньше  $F15$ , лицевой кирпич - не меньше  $F25$ , облицовочные изделия из гранита, габбро, базальта - не меньше  $F50$ , бетон для гидротехнических сооружений - не меньше  $F200$  и т. д.

Стабильность свойств определяется также проницаемостью структуры материала, которая характеризуется такими показателями как водо-, паро- и газопроницаемость.

Водопроницаемость некоторых строительных материалов характеризуется коэффициентом фильтрации  $K_{\phi}$  (м/с), который находят по формуле:

$$K_{\phi} = \frac{V \cdot \delta}{(P_1 - P_2) \cdot F \cdot \tau} \quad (2.11)$$

где  $V$  - объем воды, которая прошла сквозь толщу материала,  $\text{м}^3$ ;  $\delta$  - толщина образца материала,  $\text{м}$ ;  $(P_1 - P_2)$  — разность давлений водяного столба на проти- воположных сторонах образца,  $\text{м}$ ;  $F$  — площадь образца, сквозь которую просачивалась вода,  $\text{м}^2$ ;  $\tau$  - длительность испытания,  $\text{с}$ .

Следовательно, коэффициент фильтрации - это скорость проникновения воды сквозь материал площадью  $1 \text{ м}^2$  толщиной  $1 \text{ м}$  за  $1 \text{ с}$  при разнице давлений на противоположных сторонах образца, который создается  $1 \text{ м}$  водяного столба.

**Паропроницаемость** - это способность материала пропускать водяной пар при наличии разности давлений на поверхностях ограждения. Стены жилых домов, больниц и других помещений должны «дышать», то есть быть достаточно проницаемыми для водяного пара без его конденсации (естественная вентиляция). Стены производственных помещений, которые имеют повышенную влажность, должны быть защищены изнутри от проникновения водяного пара, поскольку в зимнее время происходит его конденсация, резко повышается влажность материалов с внешней стороны, что может привести к снижению прочности и даже к разрушению конструкции.

Паропроницаемость характеризуется коэффициентом паропроницаемости  $K_n$ . Например,  $K_n$ , кг/(м · с · Па), составляет: для туфа -  $2,4 \cdot 10^{-8}$ , для тяжелого бетона —  $1,2 \cdot 10^{-8}$ , для сосны поперек волокон -  $1,6 \cdot 10^{-8}$ , для кирпича керамического -  $2,24 \cdot 10^{-8}$ , для шлаковаты -  $10,2 \cdot 10^{-8}$ .

## 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Технологические свойства характеризуют способность материалов к восприятию определенных технологических операций, выполняемых с целью изменения их формы, размеров, характера поверхности, плотности и т.п.

Эти свойства проявляются в процессе производства и эксплуатации материалов и изделий на их основе. Технологические свойства строительных материалов оценивают визуально или с помощью специальных приборов и методов испытаний. К ним относят формуемость, измельчаемость, распиливаемость, гвоздимкость, полируемость и др.

**Формуемость** характеризует способность материала принимать определенную форму в результате различных механических воздействий (вибрация, прессование, выдавливание, прокатывание). Она зависит, как от механического воздействия преимущественно ударных нагрузок, приводящих к образованию зернистого материала в виде щебня и песка.

**Измельчение** можно выполнять также, используя действие электрического тока, термического удара, электрогидравлического эффекта и т. п.

**Распиливаемость** — это способность материала подвергаться распиливанию без существенного нарушения структуры. Примерами материалов, которые поддаются распиловке, является древесина и изделия из нее, мягкие горные породы и т. п.

**Гвоздимость** выражает способность материала удерживать гвозди и шурупы при определенных условиях выдергивания. Это свойство особенно важно для стеновых материалов в жилищном строительстве. Хорошей гвоздимостью отличаются древесина и ячеистый бетон.

**Полируемость** — это способность материала при обработке абразивами приобретать гладкую блестящую поверхность, что значительно улучшает его декоративные свойства. Чаще всего полированию подвергают природные каменные материалы (мрамор, гранит, кварцит и др.) при изготовлении облицовочных изделий.

## 6. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Требования к качеству дорожно-строительных материалов нормируются в пределах Украины и стран ЕС, и выражаются в специальных нормативных документах:

- стандарты (постановления, правила, своды правил);
- технические регламенты;
- технические условия.

В Украине действуют государственные стандарты Украины (ДСТУ) и межгосударственные стандарты СНГ. В этих нормативных документах изложены требования к качеству материалов и изделий из этих материалов и к методам испытания. Действующие в Украине стандарты разделяют на 8 видов: основополагающие; на методы испытания; на продукцию; на процессы и др.

Строительные нормы и правила (ДБН), применяемые в строительстве, также можно отнести к нормативным документам, например ДБН В.2.3-4:2007. «Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво».

Большинство дорожно-строительных материалов являются объектами государственной стандартизации. При строительстве автомобильных дорог следует тщательно выполнять требования к материалам и изделиям, изложенным в нормативной литературе.

Государственные стандарты Украины должны пересматриваться каждые пять лет. После пересмотра номер стандарта оставляют без изменения, изменяется только год утверждения стандарта. Так, стандарт Украины ДСТУ Б В.2.7-121-2003 «Строительные материалы. Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей» после пересмотра будет иметь тот же номер только последние цифры будут заменены в зависимости от года утверждения стандарта после его пересмотра. Сведения о действующих стандартах публикуются в сборнике «Каталог нормативных документов», издаваемых ежегодно.

## **Зарубежные системы стандартизации, современные проблемы адаптации и гармонизации**

Ведущее положение в процессе гармонизации стандартов различных стран и в разработке единого нормативного обеспечения в Европе занимает Европейский комитет по нормированию (European Committee de Normalization - CEN). CEN разрабатывает Европейские нормы (EN), документы по их согласованию, занимается проблемами создания для Европы набора символов для идентификации продукции и т.д.

Основной организацией по стандартизации в США является Американский национальный институт стандартов (ANSI) – существует 78 лет.

В мировом сообществе таким органом является «Международная организация по стандартизации».

В соответствии с европейскими стандартами все технические нормативы подразделяют на три группы:

- 1) код продукции (так называемый Еврокод);
- 2) стандарты на продукцию;
- 3) стандарты на методы испытания.



СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ