## Физические свойства материалов

К физическим свойствам относят характеристики физического состояния материалов (плотность, показатели плотности и пористости, влажность) и отношение материала к различным физическим процессам (поглощению воды при погружении в нее материала, поглощению влаги из воздуха, фильтрации воды, передачи тепла).

**Плотность** $\rho_o$ характеризуется отношением его массы к объему. Плотность, вычисляют по формуле:

$\rho_o = m/V_м$,

где m — масса материала, кг; Vм — объем, занимаемый этим материалом, м3.

Плотность одного и того же пористого материала увеличивается с повышением влажности материала. Нормативные документы устанавливают для каждого материала нормированную влажность, при которой определяют плотность материала.

Во время определения плотности бетона в лаборатории (ГОСТ 12730.1—78) его доводят до нормируемой влажности $\omega_н$ или определяют плотность бетона $\rho_\omega$ При его естественной влажности $\omega_м$, а затем по приведенной ниже формуле вычисляют его плотность при нормируемой влажности $\rho_н$:

$$\rho_н = \rho_\omega \frac{1 + \omega_н}{1 + \omega_м}$$

Многие строительные материалы применяют в виде зерновой смеси. Плотность такой смеси называют насыпной. Она характеризуется величиной массы материала, заполняющей единицу объема.

Насыпную плотность $\rho_{нас}$ вычисляют по той же формуле, что и плотность сплошных материалов и деталей. Насыпная плотность возрастает с увеличением степени уплотнения материала. Поэтому для каждого сыпучего материала стандарты предусматривают степень его уплотнения при определении насыпной плотности, а также объем мерного сосуда, применяемого при испытаниях.

Таблица 1. Плотности некоторых строительных материалов, кг/м3

| Материал | Плотность | Насыпная плотность |
|---|---|---|
| Гранит | 2610 – 2650 | |
| Гранитный щебень | | 1250—1550 |
| Известняк (плотный) | 1800 – 2700 | |
| Известняковый щебень | | 1200 - 1500 |
| Керамзитовый гравий | | 250 - 1000 |
| Портландцемент | | 1000 - 1400 |
| Шлакопортландцемент | | 1100 - 1250 |
| Тяжелый бетон | 2200 – 2500 | |
| Керамзитобетон | 800-2200 | |
| Ячеистый бетон | 400—1000 | |
| Пенопласт | 40—220 | |
| Чугун | 6800—7700 | |
| Сталь | 7500—7860 | |

В табл. 1 приведены плотности некоторых строительных материалов, применяемых при сооружении конструкций из бетона и железобетона.

Показателем плотности Р, %, называется отношение объема, занимаемого твердым веществом, к объему всего материала

$P=(V_{т.в.}/V_м)*100$.

Объем всего материала равен

$V_м = m/\rho_{о.}$

Объем твердого вещества Vт.в равен

$V_{т.в.} = m/\rho_{т.в.}$ .

Показатель плотности равен

$$P = \frac{m/\rho_{т.в.}}{m/\rho_0} \cdot 100 = (\rho_0 / \rho_{т.в.}) \cdot 100.$$

где $\rho_{т.в.}$ - плотность твердого вещества материала, равная массе вещества в единицу объема его без пор и пустот.

Свойства строительных материалов во многом зависят от показателя плотности. Для материала одного и того же состава с увеличением показателя плотности увеличиваются прочность, теплопроводность, водонепроницаемость.

У всех абсолютно плотных материалов — стали, высокосортного стекла, битума, пластических масс (кроме пенопластов и поропластов) — показатель плотности равен единице.

Материалы, у которых показатель плотности меньше единицы, называют пористыми.

Пористость — степень заполнения объема материала порами. Поры разделяют на открытые и замкнутые. Отношение объема всех пор к объему материала называют общей пористостью, которая характеризуется показателем общей пористости $П_{общ}$.

Показатели плотности и общей пористости в сумме равны единице

$P+ П_{общ} =1$.

Отсюда показатель общей пористости, %, находят по формуле

$П_{общ} = (1 — \rho_о / \rho_{т.в.})\cdot 100$.

Открытой пористостью называется отношение объема пор, сообщающихся с атмосферой, ко всему объему материала. Открытую пористость определяют экспериментальным путем. Для этого заполняют поры, сообщающиеся с атмосферой, какой-либо жидкостью (водой, керосином) и по объему заполнившей поры жидкости судят об объеме открытых пор. Заполнить весь объем открытых пор жидкостью практически невозможно. Поэтому вычисленная таким способом открытая пористость является величиной условной и соответствие ее фактической величине зависит от метода испытаний.

Для определения открытой пористости строительных материалов их высушивают до постоянной массы, насыщают жидкостью, чаще всего водой, и взвешивают. Разность масс насыщенного жидкостью и сухого материала, деленная на плотность жидкости, дает объем жидкости, заполнившей поры материала.

Показатель открытой пористости $П_{от}$, %, определяют по формуле

$$П_{от} = \frac{V_{от.пор}}{V_м} \cdot 100 = \frac{m_{нас} - m_{сух}}{\rho_ж}.$$

где $m_{сух}$ — масса сухого образца до насыщения, жидкостью, кг; $m_{нас}$ — масса образца материала, насыщенного жидкостью, кг; $\rho_ж$ — плотность жидкости, насытившей образец, кг/м3; $V_{от.пор}$ — объем открытых пор в образце, м3; Vм — объем образца материала в естественном состоянии, м3,

При насыщении образца водой предыдущая формула упрощается.

Так как масса 1 м3 воды составляет 1000 кг, то величину массы воды, заполнившей поры, принимают за объем открытых пор.

$$П_{от} - \frac{m_{нас} \quad m_{сух}}{V_м} \cdot 100.$$

Открытые поры оказывают большое влияние на свойства материалов. При определении показателя открытых капиллярных пор бетона (ГОСТ 12730.4—78) образцы насыщают водой до тех пор, пока разница их масс при взвешивании через 24 ч будет меньше 0,1% от массы образца.

Влажностью называется отношение массы содержащейся в материале воды к массе сухого материала, выраженное в процентах.

Влажность вычисляют по формулам

$$\omega_{и.сет} = \frac{m_в - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100\%$$

где $m_в$ — масса влажного материала, кг; $m_{сух}$ — масса сухого материала, кг.

Влажность материала оказывает влияние на его свойства. Так, материал с заполненными водой порами обладает более низкой прочностью, чем сухой материал. При повышении влажности снижаются теплозащитные свойства материалов.

**Jtsntstftscdts^h j dcfj dz** называется способность материала впитывать и удерживать в своих порах воду. Массовое водопоглощение $W_m$ определяют отношением массы поглощенной воды при погружении в нее материала к массе сухого материала и вычисляют по формуле

$$W_m = \frac{m_{вод} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100\%.$$

где $m_{вод}$ — масса материала с поглощенной, водой, кг,

Методика насыщения бетона водой (ГОСТ 12730. 3—78) такая же, как при определении показателя открытых капиллярных пор бетона.

С увеличением водопоглощения снижается морозостойкость материала, в том числе и бетона.

**,[cfatsffftstfcfudstfjs'** - способность материала поглощать водяные пары из воздуха. Влага из воздуха оседает-(адсорбируется) на поверхности материала, а также заполняет открытые поры радиусом до 1000 А. Следовательно, большей гигроскопичностью обладают материалы с развитой открытой пористостью при условии преобладания пор радиусом менее 1000 А. Кроме того, гигроскопичными являются порошкообразные материалы с большим значением удельной поверхности, которая равна площади поверхности зерен порошка в 1 г материала. Гигроскопическое поглощение влаги — процесс обратимый. При повышении влажности и понижении температуры воздуха

увеличивается поглощение материалом влаги из воздуха. При повышении температуры и уменьшении влажности воздуха материал отдает поглощенную влагу в воздушную среду. Гигроскопичность бетона характеризуется его сорбционной влажностью, определяемой по ГОСТ 12852. 6—77.

**Водопроницаемость** называется способность материала пропускать через себя воду под давлением. Только абсолютно плотные материалы являются водонепроницаемыми. Вода фильтруется через материал по порам, сообщающимся между собой и поверхностью материала. Фильтрация идет тем медленнее, чем меньше открытая пористость материала и чем меньше диаметр пор. Водопроницаемость определяется количеством воды, проходящей через единицу площади материала в единицу, риала к массе сухого материала и вычисляют по формуле

$$W_m = \frac{m_{вод} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100\%,$$

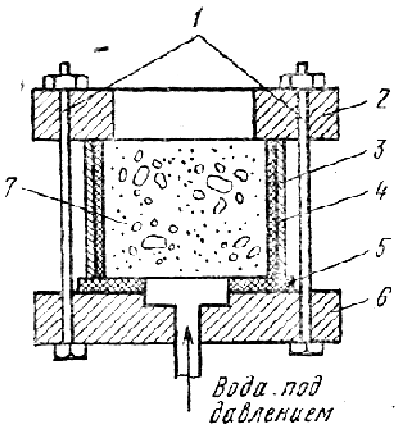
где $m_{вод}$ — масса материала с поглощенной, водой, кг.

Методика насыщения бетона водой (ГОСТ 12730. 3—78) такая же, как при определении показателя открытых капиллярных пор бетона.

С увеличением водопоглощения снижается морозостойкость материала, в том числе и бетона.

**Гигроскопичность** — способность материала поглощать водяные пары из воздуха. Влага из воздуха оседает-(адсорбируется) на поверхности материала, а также заполняет открытые поры радиусом до 1000 А. Следовательно, большей гигроскопичностью обладают материалы с развитой открытой пористостью при условии преобладания пор радиусом менее 1000 А. Кроме того, гигроскопичными являются порошкообразные материалы с большим значением удельной поверхности, которая равна площади поверхности зерен порошка в 1 г материала. Гигроскопическое поглощение влаги - процесс обратимый. При повышении влажности и понижении температуры воздуха увеличивается поглощение материалом влаги из воздуха. При повышении температуры и уменьшении влажности воздуха материал отдает поглощенную влагу в воздушную среду. Гигроскопичность бетона характеризуется его сорбционной влажностью, определяемой по ГОСТ 12852. 6—77.

**Водопроницаемость** называется способность материала пропускать через себя воду под давлением. Только абсолютно плотные материалы являются водонепроницаемыми. Вода фильтруется через материал по порам, сообщающимся между собой и поверхностью материала. Фильтрация идет тем медленнее, чем меньше открытая пористость материала и чем меньше диаметр пор. Водопроницаемость определяется количеством воды, проходящей через единицу площади материала в единицу времени при разности давлений в 0,1 МПа на поверхностях, расстояние между которыми равно единице длины.




В строительстве применяют материалы, не являющиеся абсолютно водонепроницаемыми и в то же время обеспечивающие определенные условия эксплуатации. Эти материалы не должны пропускать воду под определенным давлением в течение установленного

ГОСТом времени. Поэтому для строительных материалов устанавливают марки по их водонепроницаемости, характеризуемые условными величинами, получаемыми экспериментальным путем.

Так, водонепроницаемость бетона (ГОСТ 12730.5-84) устанавливают испытанием образцов-цилиндров 7 (рис. 5) с диаметром и высотой, равной 15 см. К одному из торцов образца подводят под давлением воду. Испытание "начинают при давлении воды 0,1 МПа и через каждые 8 ч давление повышают на 0,1 МПа.

Рис. 5. Схема устройства для испытания бетона на водонепроницаемость:
1 — стяжные болты, 2 — верхний прижимной фланец, 3 — обойма, 4 — уплотняющий материал, 5 — уплотняющая резиновая подкладка, 6 — нижний фланец, 7 — образец-цилиндр из бетона

В момент появления на сухом торце образца признаков просачивания воды (образование темного влажного пятна) фиксируют величину давления воды. В зависимости от величины этого давленияустанавливают марку бетона по водонепроницаемости: В2; В4; В6; В8; В10; В12.

Коэффициент фильтрации $К_ф$ бетона каждой из приведенных марок должен быть не больше величины, установленной ГОСТ 12730.5-84. В зависимости от условий эксплуатации конструкции значение коэффициента фильтрации $К_ф$ определяют на образцах в состоянии: равновесной влажности — для конструкций, работающих в условиях переменного увлажнения и высыхания, а также в воздушно-влажных условиях; водонасыщения — для конструкций, работающих постоянно в контакте с водой.

**Морозостойкость** называется способность насыщенного водой материала выдерживать определенное число циклов попеременного замораживания и оттаивания. При температуре от 0° и ниже вода превращается в лед. Объем образовавшегося льда примерно на 9% больше объема воды, в результате чего развивается давление, которое может привести к разрушению материала.

Давление льда в расположенных рядом внутренних порах взаимно компенсируется. В порах, расположенных у поверхности материала, давление, направленное к поверхности, ничем не компенсируется и поэтому материал начинает разрушаться с поверхности. Так как в большинстве случаев не весь объем пор заполнен водой, то при замерзании вода расширяется внутрь не заполненных ею пор, снижая тем самым давление на стенки твердого вещества. Поэтому при однократном замерзании воды материал не разрушается. При цикличном замораживании и оттаивании увеличивается количество поглощенной материалом воды и он постепенно разрушается. Чтобы разрушить материал в конструкции или образцах, при испытаниях на морозостойкость требуется от десятков до сотен циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Под воздействием низких температур материал разрушается тем быстрее, чем больше его открытая пористость, водопоглощение и ниже прочность. На морозостойкость материала большое влияние оказывают размеры пор. Чем меньше диаметр капилляров, тем ниже температура, при которой замораживается заполнившая их вода. Установлено, что в тончайших капиллярах вода не замерзает при температуре до —78°С. Для большинства строительных Материалов замерзание основного объема поглощенной ими воды происходит при температуре от —15 до —18°С. Поэтому строительные материалы испытывают на морозостойкость путем попеременного замораживания водонасыщенных образцов на воздухе при температуре — 15°С и оттаивания в воде при температуре 18°С.

Образцы замораживают в специальных камерах. Время замораживания и оттаивания зависит от материала и размеров образца. Одно замораживание и оттаивание принимается за один цикл испытания. Число циклов испытаний регламентируется СНиПом или ГОСТом в зависимости от назначения сооружения, климатического пояса, где оно расположено, и условий эксплуатации. Критерием оценки морозостойкости бетона (ГОСТ 10060.0-95) служит изменение прочности и сохранение массы при испытаниях. После прохождения установленного числа циклов испытаний снижение прочности бетона не должно быть более 15% при сохранении массы образцов.

**Теплопроводность** называется способность материала проводить тепло через свою толщу. Степень теплопроводности материала характеризуется коэффициентом теплопроводности λ (греческая буква ламбда).

Коэффициент теплопроводности показывает количество тепла (Дж), которое проходит в течение 1 с через материал толщиной 1 м и площадью 1 м2 при разности температур на двух его противоположных поверхностях в 1 К. Размерность коэффициента теплопроводности - Вт/(м-К).

Коэффициент теплопроводности зависит от ряда факторов н в первую очередь, от атомно-молекулярного строения вещества. Так, λ различных абсолютно плотных материалов равна у меди 350; стали — 58; мрамора — 3,5; — 52; воды — 0,58 Вт,- (м • К). Коэффициент теплопроводности материала уменьшается с увеличением пористости. Например, у тяжелого бетона λ составляет 1,3—1,5 Вт/(м-К), у легкого бетона с пористым заполнителем — 0,29—0,7 Вт/(м-К), у пено и газобетона — 0,18—0,4 Вт/(м-К), пенопласта — 0,045— 0,06 Вт/(м-К).

Снижение коэффициента теплопроводности материала объясняется тем, что λ; воздуха, заполняющего поры, незначительная — порядка 0,029—0,035 Вт/(м-К). Чем больше таких малотеплопроводных включений, тем теплопроводность материала меньше.

Для одного и того же пористого материала коэффициент теплопроводности повышается с увеличением влажности материала. Это вызвано тем, что при заполнении пор водой теплопередача увеличивается, так как коэффициент теплопроводности воды равен 0,58 Вт/ (м • К).

Особенно сильно снижаются теплозащитные свойства материала при замерзании воды в порах. В этом случае при коэффициенте теплопроводности льда 2,32 Вт/(м-К) теплопередача через поры увеличивается в 80 раз по сравнению с теплопередачей через поры, заполненные воздухом.

**Теплоемкость** называется способность материала поглощать определенное количество тепла при нагревании и отдавать его при охлаждении. Показателем теплоемкости является удельная теплоемкость материала **c**, определяющая количество тепла (Дж), которое необходимо затратить, чтобы нагреть 1 кг материала на 1 К. Размерность удельной теплоемкости — Дж/(кг-К).

Коэффициент удельной теплоемкости различных видов бетона колеблется незначительно — от 0,7 до 0,95 кДж/(кг-К). С увеличением влажности материала увеличивается удельная теплоемкость материала, так как по сравнению с материалами, применяемыми в строительстве, вода обладает большей удельной теплоемкостью— 4,1868 кДж/(кг-К). Из строительных материалов наименьшей удельной теплоемкостью

обладает асбест — 0,2093 кДж/(кг-К), наибольшей — древесина—2,510 кДж/(кг-К). У стали fhj= 0,4815 кДж/(кг-К). Удельная теплоемкость бетона практически не зависит от его пористости и вида заполнителя. Она равна примерно 0,84 кДж/(кг-К).

**vsjtfdts=tsj tsOfh dftsjdkfj** твердых тел характеризуется коэффициентами линейного α и объемного β расширения. Между величинами этих коэффициентов существует математическая зависимость β=3α. Поэтому приводят для материала величину только коэффициента линейного расширения α. Она численно равна удлинению стержня после его нагрева на 1°С. При 0°С длина стержня равна единице. Размерность коэффициента линейного расширения 1/град. Его минимальная величина у кварцевого стекла — 0,0000005 1/град. У стали α=0,0000115 ÷ 0,000014 1/град, у бетона а = 0,000014 1/град, у алюминия а=0,000024 1/град.

**ɩOtsftsdkfuOj dtsfhs'** или **=tsuhZ=tsftsdkfuOj dtsfhs'** называется способность материала пропускать газ (воздух) от поверхности с большим давлением к поверхности с меньшим давлением.

**Jtsuhl=tsftsdkfuOj dtsfhs'** различных материалов характеризуется коэффициентом воздухопроницаемости μ, определяемым опытным путем. Коэффициент воздухопроницаемости зависит от открытой пористости материала: чем больше пористость, тем выше воздухопроницаемость. С увеличением влажности материала коэффициент воздухопроницаемости снижается.

Разность давлений воздуха возникает в результате многих причин. Например, в жилых домах разность давлений возникает из-за неодинаковой плотности нагретого (внутри помещения) воздуха и холодного (на улице), а также в результате действия ветра. В последнем случае с надветренной стороны будет создаваться давление, с подветренной — разрежение.

Акустические свойства строительных материалов характеризуются **ɩ=hZtsftsdts' jdkfj dz**. и **ɩ=hZtsftsdkfuOj dtsfhs'** .

**ɩ=hZtsftsdts' jdkfj** — способность материала поглощать звук. Степень поглощения звука различными материалами характеризуется коэффициентом звукопоглощения α, равным отношению поглощенной единицей поверхности материала звуковой энергии $E_{пог}$ к общему количеству падающей энергии $E_{пад}$ в единицу времени:

$\alpha = E_{пог} / E_{пад}$

Звукопоглощение материалов зависит от их структуры. Материалы с сообщающимися открытыми порами лучше поглощают звук, чем материалы с замкнутыми порами. Для увеличения звукопоглощения в материале делают ряд мелких отверстий (перфорацию).

**ɩ=hZtsftsdkfuOj dtsfhs'** — способность материала пропускать звуковую волну. Это свойство оценивают коэффициентом звукопроницаемости, величина которого характеризует относительное уменьшение силы звука при прохождении его через материал. Наилучшими звукоизолирующими свойствами обладают многослойные изделия и конструктивные детали с чередующимися слоями пористых и плотных материалов.

**ʃ dtjfhs ts=tsfhs'** называется способность материала сохранять определенное время прочность и форму под воздействием огня. Снижение прочности, потеря формы или разрушение могут происходить в результате химического разложения материала под

действием высокой температуры, плавления материала, неодинаковых коэффициентов линейного расширения составляющих материала.

Примером химического разложения может служить разложение известняка, мрамора, доломита под действием высокой температуры. Алюминиевые конструкции под действием температуры свыше 550—660°С плавятся.

По возгораемости строительные материалы делятся на три группы: несгораемые, трудносгораемые и сгораемые. Несгораемые материалы под действием огня или высокой температуры не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются. Трудносгораемые под воздействием огня или высокой температуры воспламеняются, тлеют или обугливаются, а после удаления источника огня горение и тление их прекращаются. Сгораемые материалы под воздействием огня или высокой температуры воспламеняются или тлеют и продолжают гореть или тлеть после удаления источника огня.

**Огнеупорность** - способность материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры, не изменяя формы и требуемых свойств.

Материалы, обеспечивающие нормальную эксплуатацию выполненных из них конструкций при температурах выше 200°С, называют жаростойкими. Их подразделяют на жароупорные, эксплуатируемые при температуре до 1580°, и огнеупорные, эксплуатируемые при температуре выше 1580°С.

Огнеупорность материалов определяют путем нагрева образцов испытываемого материала в виде трехгранной пирамидки. За температуру огнеупорности принимают ту температуру, при которой вершина пирамидки вследствие размягчения и оплавления материала коснулась пода печи, .в которой пирамидка нагревалась.

**Термическая стойкость** материала характеризуется способностью материала выдерживать резкое изменение температуры, не разрушаясь при этом. Термическая стойкость материалов зависит главным образом от величины коэффициента линейного расширения. Чем выше величина этого коэффициента, тем менее термически стоек материал. Так, изделия из плавленого кварца вследствие малого коэффициента линейного, расширения (равного 0,0000005) можно нагреть до 1200°С, а затем быстро опустить в холодную воду, и они при этом не потрескаются.

При одинаковом коэффициенте линейного расширения термическая стойкость повышается у материалов с более высокой пористостью.

**Электрические свойства** материалов оценивается по величине их электрического сопротивления и электрической проводимости. Электрическое сопротивление металлического проводника не зависит от величины напряжения в сети. Это свойство выражается законом Ома:

I=U/R,

где I — сила тока, протекающего по проводнику, А; V — величина приложенного напряжения, В; R — сопротивление проводника, Ом.

**Электрическое сопротивление** материала, из которого изготовлен проводник, оценивается величиной удельного электрического сопротивления, обозначаемого ρ. Эта величина характеризует сопротивление в омах проводника из данного материала длиной 1 м с площадью поперечного сечения 1 м2.

Из материалов наименьшим удельным электрическим сопротивлением обладает серебро: р=0,016 Ом-мм2/м, незначительно больше удельное электросопротивление у

меди р = 0,017 Ом-мм2/м, у алюминия и железа, применяемых в электросварочном оборудовании, удельное электосопротивление соответственно равно 0,028 и 0,098 Ом-мм2/м.

[illegible] материалов характеризуется удельной электрической проводимостью γ, См/м, являющейся величиной, обратной удельному электрическому сопротивлению:

γ=1/ρ.

Эта величина характеризует в сименсах (См) проводимость цилиндрического прямолинейного проводника площадью поперечного сечения 1 м2 и длиной 1 м. Сименс= 1/Ом.

На удельное электрическое сопротивление ρ и удельную электрическую проводимость γ большое влияние оказывают примеси в металлах, а также деформирование металла в холодном состоянии (наклеп). Наибольшей удельной проводимостью обладают чистые металлы. Примеси, так же как и наклеп, снижают электропроводность. Так, удельное сопротивление основного сплава для изготовления проводников — альдрея, состоящего из А1 с добавкой 0,5% Mg, 0,5% Si и 0,3% Fe, равно 0,036 Ом-мм2/м против 0,028 Ом-мм2/м у чистого алюминия. Введенные добавки, снижая электропроводность алюминия, увеличивают его прочность на растяжение с 1 до 3,5 МПа. Сплавляя железо с 25% хрома и 5% алюминия, получают сплав высокого сопротивления — хромаль с удельным электросопротивлением р = 1,5 Ом·мм2/м.