

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Строительные материалы»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине «Строительное материаловедение» для студентов
направления 08.03.01 «Строительство» профиля «Автомобильные дороги»
заочной формы обучения

1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Оценку качества строительных материалов проводят по результатам их испытаний, в результате которых определяется то или иное свойство испытываемого материала. В зависимости от того, каковы особенности строения и как материал реагирует на различные воздействия, свойства материалов выделяются в отдельные группы.

1.1 Структурные свойства

Структурные свойства характеризуют строение материала; к ним относятся истинная, средняя плотность; пористость; насыпная плотность, межзерновая пустотность; удельная поверхность.

Истинная плотность – характеризуется массой единицы материала в его абсолютно плотном состоянии. Для определения истинной плотности необходимо взвесить образец материала и измерить его объем. Если материал в естественном состоянии является абсолютно плотным (металлы, стекло, плотные пластмассы, материалы, получаемых из расплавов и т.п.), определение объема может быть выполнено либо путем измерения размеров изготовленного из него образца правильной геометрической формы (куба, цилиндра, параллелепипеда и др.), либо гидростатическим взвешиванием образцов произвольной формы сначала на воздухе, а затем в воде. Разность масс и будет численно равна объему такого образца.

Большинство строительных материалов являются не абсолютно плотными, а пористыми. Для определения истинной плотности такие материалы измельчают (для разрушения пор), а затем определяют истинную плотность зерен порошка в колбе-объемомере Ле Шателье-Кандло либо в пикнометре. Разделив массу порошка, всыпанного в эти приборы на объем вытесненной им жидкости, получают значение истинной плотности материала. Вычисление истинной плотности производят по формуле

$$\rho_{\text{и}} = \frac{m}{V_{\text{а}}} \left[\frac{\text{г}}{\text{см}^3} ; \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3} ; \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} ; \frac{\text{т}}{\text{м}^3} \right],$$

где m – масса образца или пробы порошка;

$V_{\text{а}}$ – объем образца или пробы порошка в абсолютно плотном состоянии.

Средняя плотность характеризуется массой единицы объема материала в его естественном состоянии, то есть с учетом всех пор и несплошностей (трещин, каверн и т.п.), находящихся внутри материала.

Для материалов, являющихся в естественном состоянии абсолютно плотными значения средней и истинной плотностей совпадают.

Среднюю плотность пористых материалов определяют на образцах как правильной формы, так и произвольной. Среднюю плотность в образцах правильной геометрической формы определяют так же, как и истинную плотность. Определение объема образцов произвольной формы выполняют гидростатическим взвешиванием высушенных образцов, поверхность которых (для предотвращения впитывания воды при взвешивании) покрывают сплошной водонепроницаемой пленкой (например, восковой или парафиновой), объем которой вычитают из объема, полученного при гидростатическом взвешивании. Вместо обработки пленкой можно высушенные образцы предварительно насытить водой, а затем взвесить на гидростатических весах.

Среднюю плотность вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{V_e} \left[\frac{\text{г}}{\text{см}^3}; \frac{\text{кг}}{\text{дм}}; \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \frac{\text{т}}{\text{м}^3} \right],$$

где m – масса высушенного образца;

V_e – объем образца в естественном состоянии.

Общая (истинная) пористость характеризует объем пор, содержащихся в материале, выраженный в долях (или процентах) геометрического объема образца. Общую пористость рассчитывают по формуле

$$\Pi_{\text{об}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{ср}}}{\rho_{\text{и}}} \right) \cdot 100 \%$$

Общая пористость материала включает в себя два вида пор, отличающихся их способностью заполняться водой: *открытые* и *условно замкнутые*. К открытым относятся поры, заполняемые жидкой водой при атмосферном давлении, к условно замкнутым – поры, заполняемые жидкой водой при давлении выше атмосферного. Для определения открытой пористости ($\Pi_{\text{откр}}$) образец насыщают водой до постоянной массы, а затем взвешивают. После этого вычисляют водонасыщение по массе по формуле:

$$W_{\text{м}} = \frac{m_{\text{нас}} - m}{m} \cdot 100\%,$$

где m – масса сухого образца;

$m_{\text{нас}}$ – масса того же образца, насыщенного водой до постоянной массы.

Открытую пористость рассчитывают по формуле

$$\Pi_{\text{откр}} = W_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{ср}}.$$

Условно-замкнутую пористость рассчитывают по формуле

$$\Pi_{\text{замк}} = \Pi_0 - \Pi_{\text{откр}}.$$

Насыпная плотность характеризуется массой единицы объема зернистого материала в его рыхлонасыпном состоянии (без какого бы то ни было уплотнения). Для определения насыпной плотности используют как правило цилиндрические металлические мерные сосуды стандартных размеров и объема. Объем сосуда принимается с учетом наибольшей крупности зерен материала. Так, для определения насыпной плотности материалов с крупностью зерен не более 5 мм (цемент, гипс, песок и т.п.) применяют сосуды объемом 1000 см³, при крупности зерен св. 5 до 10 мм – 10 л, св. 10 до 20 мм – 20 л, св. 20 до 40 мм – 50 л. Насыпную плотность, $\rho_{\text{нас}}$, определяют делением массы материала, поместившегося в мерный цилиндр, на объем этого цилиндра:

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V_c} \left[\frac{\text{кг}}{\text{дм}}; \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \frac{\text{т}}{\text{м}^3} \right],$$

где m – масса материала в цилиндре;

V_c – объем цилиндра.

Межзерновая пустотность характеризуется относительным объемом межзерновых пустот в зернистом материале (без учета пор в самом материале); ее рассчитывают по формуле:

$$V_{\text{мз}} = 1 - \frac{\rho_{\text{нас}}}{\rho_{\text{ср}}},$$

где $\rho_{\text{нас}}$ – насыпная плотность материала;
 $\rho_{\text{ср}}$ – средняя плотность зерен материала (в куске).

1.2. Физические свойства строительных материалов

Физические свойства характеризуют поведение материала при воздействии на него физических факторов: влаги, тепла, звука, электрического тока и др. В соответствии с этим физические свойства объединены в следующие группы: гидрофизические, теплофизические, акустические, электрические и др. свойства. В данном курсе рассматриваются гидрофизические, теплофизические и акустические свойства как наиболее важные для строительных материалов.

Гидрофизические свойства

К ним относятся гигроскопичность, влажность, водопоглощение, водопроницаемость, паропроницаемость, усадка-набухание, морозостойкость.

Гигроскопичность характеризует способность пористого материала поглощать из воздуха парообразную влагу и конденсировать (переводить в жидкое состояние) на стенках своих пор и капилляров. Конденсация водяных паров происходит в результате электрического притяжения диполей воды заряженной поверхностью минерального материала. Вид электрического заряда (положительный или отрицательный) этого слоя зависит от химического состава минерального материала: если в составе материала преобладают оксиды щелочных и щелочноземельных металлов (оксиды кальция, магния, натрия и др.), то их поверхность заряжена положительно, если же преобладают кислые оксиды (кремния, алюминия, железа и др.) – отрицательно. Для диполей воды вид заряда не играет существенной роли, так как они имеют как положительный, так и отрицательный заряды.

При неизменных влажности и температуры воздуха гигроскопическая влажность, таким образом, будет зависеть только от напряженности некомпенсированного электрического слоя. Если же влажность воздуха повысится, возрастает и вероятность «захвата» электрическим слоем диполей воды, гигроскопическая влажность увеличивается. На гигроскопическое увлажнение влияет температура окружающего воздуха: чем она выше, тем большей кинетической энергией движения обладают диполи, тем меньше вероятность их конденсации; при понижении температуры кинетическая энергия диполей уменьшается, а вероятность их конденсации возрастает. Гигроскопическая влажность зависит не только от температуры и влажности среды, но в значительной мере от открытой (капиллярной) пористости материала: чем она больше, тем больше гигроскопичность материала. Когда материал длительное время находится при неизменных (или незначительно изменяющихся температуре и влажности), он приобретает *равновесную* гигроскопическую влажность. Равновесная влажность характерна для материалов, эксплуатируемых внутри помещений с более или менее постоянным температурно-влажностным режимом.

Гигроскопическая влажность сильно увеличивает теплопроводность пористых материалов, что очень важно для наружных ограждающих конструкций (наруж-

ных стен, покрытий и перекрытий подвалов зданий). При теплотехнических расчетах этих конструкций учитывают теплопроводность материалов не в сухом состоянии, а при равновесной влажности.

Водопоглощение характеризует способность капиллярно-пористого материала впитывать и удерживать воду в своих капиллярах. Вода впитывается в материал только открытыми порами (капиллярами). В процессе впитывания существенную роль играют электрические взаимодействия материала и дисущественную роль играет взаимодействие некомпенсированного электрического слоя и диполей воды. Под действием этих сил вода может проникать в капилляры материалов на большие расстояния, которые для материала данного химического состава зависят от радиуса капилляров: чем они меньше, тем на большую глубину увлажняется материал. Для материалов, содержащих большое количество капилляров малых радиусов, высота капиллярного всасывания может достигать нескольких метров. Это видно из формулы, описывающей зависимость высоты всасывания от радиуса капилляров:

$$H = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho \cdot g \cdot r_0}.$$

где σ – поверхностное натяжение воды;

θ – угол смачивания; зависит от природы материала;

ρ – плотность воды;

g – ускорение силы тяжести.

r_0 – радиус капилляра.

Водопоглощение материала определяют, насыщая до постоянной массы предварительно высушенные образцы и вычисляют по формулам:

$$\text{Водопоглощение по массе } W_m = \frac{m_{\text{нас}} - m}{m} \cdot 100\%.$$

где m – масса сухого образца.

$m_{\text{нас}}$ – масса образца, насыщенного водой до постоянной массы;

$$\text{Водопоглощение по объему } W_0 = W_m \cdot \rho_{\text{ср}}.$$

Влажность характеризует материал между его сухим и водонасыщенным состоянием. Определяют влажность материала, взвесив образец при естественной влажности, а затем после высушивания до постоянной массы. Влажность материала по массе и по объему вычисляют по выше приведенным формулам.

Водопроницаемость – способность материала пропускать через свою толщу воду под давлением.

Водопроницаемость обусловлена присутствием в материале капиллярных пор, пронизывающих материал и сообщающихся между собой. Это свойство очень важно для материалов, применяемых при сооружении резервуаров для хранения жидкости, в гидротехнических сооружениях, кровель и т.п.

Определяют водопроницаемость, создавая давление воды с одной стороны образца (цилиндра или пластинки) и наблюдая за появлением воды на противоположной его поверхности.

Паропроницаемость – способность пористых материалов пропускать через свою толщу водяной пар при разности давлений на противоположных сторонах испытываемого образца. Паропроницаемость обусловлена наличием в материалах капиллярных пор.

Требования к материалам по паропроницаемости предъявляются с учетом их назначения. Так, стеновые материалы зданий должны относительно легко пропус-

кать пар, то есть «дышать». Полная паронепроницаемость требуется у материалов, применяемых в резервуарах для хранения газов.

Влажностные деформации – *набухание* и *усадка*.

Набуханием называют увеличение объема материала при увлажнении, а *усадкой* – уменьшение объема при высыхании. Усадка и набухание материалов колеблется в широких пределах: от 0,2-0,06 мм/м у гранита до 30-100 мм/м у древесины. Многократные чередования увлажнения и высыхания сопровождаются меняющимися деформациями и напряжениями внутри материала. Многократно повторяясь, они вызывают усталостное разрушение материала.

Размягчение – уменьшение прочности материала в водонасыщенном состоянии по сравнению с прочностью в высушенном состоянии. Снижение прочности материалов при их увлажнении обусловлено двумя основными причинами: расклинивающим действием диполей воды, находящейся в микротрещинах, и наличием в составе материала растворяющихся в воде веществ. Размягчение характеризуется *коэффициентом размягчения*, представляющим отношение прочности материала в водонасыщенном состоянии $R_{\text{нас}}$ к прочности того же материала в высушенном до постоянной массы состоянии $R_{\text{сух}}$:

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

Для некоторых материалов коэффициент размягчения является нормируемой характеристикой. Так, стеновые блоки из природного камня (туфа, известняка-ракушечника и др.) разрешается изготавливать, если коэффициент размягчения камня не ниже 0,6, а изготовление облицовочных изделий из горных пород допускается при коэффициенте размягчения не менее 0,75.

Морозостойкость – способность насыщенного водой материала выдерживать многократно чередующиеся циклы замораживания и оттаивания в воде до наступления допустимой степени разрушения.

Допустимая степень для разных материалов установлена разная. Так, для цементных бетонов допустимой степенью разрушения является уменьшение прочности не более чем на 5%, а для дорожных бетонов, кроме того – уменьшение массы не более чем на 3%. Для ячеистых бетонов снижение прочности должно составлять не более 15%, а уменьшение массы – не более 5%. Морозостойкость керамических материалов в большинстве случаев характеризуется числом циклов, вызвавших появление видимых признаков разрушения (трещин, околос ребер и углов, шелушения).

Разрушение материалов при замораживании в водонасыщенном состоянии обусловлено увеличением объема воды (на 9,25%) при замерзании ее в порах. В результате этого на стенки открытых пор, заполненных водой, оказывается давление, растягивающее их. Если капиллярная пора тупиковая, то давление, создаваемое льдом и передаваемое на еще не замерзшую воду, может достигать таких значений, что стенки поры не выдерживают и разрушаются. Если капиллярная пора граничит с замкнутой, то не замерзшая еще вода продавливается из нее в полость замкнутой поры. При этом давление на стенки капиллярной поры сильно уменьшается. При многократном замораживании и оттаивании количество воды в замкнутой поре увеличивается; разрушение пор произойдет только тогда, когда весь объем замкнутой поры окажется заполненным водой.

1.2. Теплофизические свойства

К теплофизическим свойствам относятся: теплоемкость, теплопроводность, огнеупорность, жаростойкость, огнестойкость, термическая деформативность.

Теплоемкость – способность материала накапливать (аккумулировать) тепло при нагревании и отдавать его при остывании. Теплоемкость материалов выражают либо по массе (жидкости, твердые материалы) или по объему (газы, водяной пар). Теплоемкость характеризуется *коэффициентом теплоемкости*, который показывает, какое количество тепла необходимо затратить для того, чтобы нагреть 1 кг (твердого или жидкого материала) или 1 м³ (газа или водяного пара) на один градус Цельсия (Кельвина). В связи с этим коэффициент теплоемкости выражается либо *по массе*, либо *по объему*:

Коэффициент теплоемкости

$$\text{по массе } C_m = \frac{Q}{m \Delta t} \left[\frac{\text{кДж}}{\text{кгК}} \right], \quad \text{по объему } C_v = \frac{Q}{V \Delta t} \left[\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3\text{К}} \right],$$

где Q – количество тепла, затраченного на нагревание 1 кг твердого или жидкого вещества, или 1 м³ газа или пара от температуры t_1 до температуры t_2 ;

m, v – масса или объем нагреваемого вещества.

Благодаря теплоемкости температура в помещениях всегда изменяется значительно медленнее, чем снаружи, что способствует сохранению на какое-то время при резких сменах температуры наружного воздуха комфортности внутри помещений.

Теплопроводность – способность материала пропускать через свою толщу тепло от одной поверхности к другой при разности температур этих поверхностей.

Теплопроводность характеризуется коэффициентом теплопроводности λ , показывающим какое количество тепла проходит через 1 м² поверхности материала толщиной 1 м в течение 1 с при разности температур на противоположных поверхностях 1°C (K).

$$\lambda = \frac{Q \cdot L}{z (\tau_1 - \tau_2) F} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{мК}} \right],$$

где Q – количество тепла, проходящего через образец материал, Дж;

L – толщина образца, м;

z – время передачи тепла, с;

$(\tau_1 - \tau_2)$ – разность температур на противоположных поверхностях образца, °C (K);

F – площадь поверхности образца, через которую передается тепло, м².

Теплопроводность материалов зависит, главным образом, от их пористости. Это обусловлено тем, что теплопроводность твердых веществ намного больше теплопроводности воздуха ($\lambda = 0,023 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$), находящегося в порах. Если в порах материала находится влага, то теплопроводность его увеличивается в связи с тем, что теплопроводность воды ($\lambda = 0,58 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$) примерно в 25 раз больше теплопроводности воздуха.

Теплопроводность материалов учитывается при теплотехнических расчетах ограждающих конструкций зданий различного назначения (жилых, общественных, административных, промышленных).

Огнеупорность – свойство материала выдерживать длительное воздействие высоких температур, не размягчаясь и не растрескиваясь. По этому показателю строительные материалы подразделяются на три группы:

- легкоплавкие с $t_{пл} \leq 1350^{\circ}\text{C}$;
- тугоплавкие с $t_{пл} = 1351-1580^{\circ}\text{C}$;
- огнеупорные с $t_{пл} > 1580^{\circ}\text{C}$.

Огнеупорность является главной для глин, применяемых в производстве керамических материалов (стенowych, облицовочных и др.), а также материалов, применяемых для внутренней футеровки промышленных печей.

Огнестойкость – способность материала сопротивляться действию огня. По этому показателю строительные материалы подразделяются на группы:

Сгораемые – такие, которые при действии открытого источника огня воспламеняются и продолжают гореть после удаления источника огня. К ним относятся большинство органических материалов: древесина, битум, многие полимеры и др. Для защиты от возгорания и повышения огнестойкости этих материалов применяют специальные конструктивные меры, исключаящие прямое воздействие на них огня (например, защита огнестойкими теплоизоляционными материалами) или их обрабатывают специальными веществами – *антипиренами* (древесина, полимеры).

Трудносгораемые – это материалы, которые при действии открытого источника огня только тлеют и обугливаются. К этой группе относятся органоминеральные материалы: асфальтобетон, арболит, некоторые пластмассы и др.

Несгораемые – материалы, которые при действии открытого источника огня не горят, не тлеют и не обугливаются. К ним относятся все неорганические материалы: бетон, керамика, природные каменные материалы, металлы и др. Однако некоторые из них (например, бетон) при нагревании до температуры выше 600°C начинают растрескиваться, а металлы – размягчаться и деформировать. Поэтому такие материалы в ряде случаев приходится заменять более огнестойкими.

Жаростойкость характеризует способность материала выдерживать чередующиеся циклы нагревания до высоких рабочих температур и остывания до обычной температуры, не претерпевая при этом разрушения. Такие условия характерны для футеровок промышленных печей периодического действия (доменные и сталеплавильные печи, стекловаренные печи и др.).

Температурное расширение характеризуется коэффициентом линейного температурного расширения (КЛТР), показывающим на какую относительную величину изменяется линейный размер образца при нагревании (или остывании) на 1°C :

$$\alpha = \frac{l_{t_2} - l_{t_1}}{l_{t_2} \cdot \Delta t} \left[\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right]$$

Коэффициент линейного температурного расширения учитывают при проектировании зданий и сооружений, особенно протяженных (дорожные покрытия, пролетные строения мостов и т.п.).

1.3. Механические свойства

Механические свойства характеризуют поведение материала при различных механических воздействиях. Они подразделяются на деформативные и прочностные.

Деформативные свойства

Деформативные свойства характеризуют способность материала изменять свою форму при действии на него различных сил: сжатия, растяжения, изгиба и др. К ним относятся: упругость, пластичность, ползучесть, релаксация.

Упругостью называется способность материала при нагружении изменять свою форму, а после прекращения действия внешних сил – полностью ее восстанавливать. Упругая деформация выражается относительной величиной

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta l}{l_0},$$

где Δl – абсолютное удлинение (укорочение) стержня при растяжении (сжатии);

l_0 – первоначальная длина стержня.

Упругая деформация всегда прямо пропорциональна действующему напряжению. Для идеально одного и того же упругого тела соотношение $\frac{\sigma}{\varepsilon_y} = E$ является величиной постоянной и называется модулем упругости.

Пластичность – способность твердого тела изменять свою форму при нагружении, не разрушаясь, и сохранять полностью или частично приобретенную форму после прекращения действия нагрузки.

Идеально (почти) пластичными являются глиняное тесто, размягченный нагреванием битум, пластмассы и др. Большинство строительных материалов являются упруго-пластичными.

Пластические деформации, в том числе и деформации текучести (у мягких сталей) являются необратимыми, при каждом последующем нагружении появляются новые дозы пластических деформаций, величина которых от нагружения к нагружению накапливается. Это связано с тем, что пластическая деформация является следствием своеобразного «скольжения» одних структурных элементов (например, кристаллов) по отношению к другим или перегруппировкой структурных элементов под действием напряжений (например, продавливание геля цементного камня в бетоне из зоны с большим напряжением в зону с меньшим).

Это же происходит и при длительном действии нагрузки. Деформирование материала в этом случае называют *ползучестью*.

Прочность и другие механические свойства

Прочность характеризует способность материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, вызванных действием внешних сил. Прочность оценивают пределом прочности, то есть такой величиной внутренних напряжений, при которой материал разрушается.

Разрушение происходит тогда, когда деформации растяжения материала достигнут предельной величины:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{упр}} + \varepsilon_{\text{пл}} + \varepsilon_{\text{полз}},$$

где, $\varepsilon_{\text{упр}}$ – деформация упругости;

$\varepsilon_{\text{пл}}$ – деформация пластичности;

$\varepsilon_{\text{полз}}$ – деформация ползучести.

Деформации упругости и пластичности называют мгновенными деформациями, так как они проявляются в момент нагружения материала. В этом случае разрушение материала происходит когда

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{упр}} + \varepsilon_{\text{пл}}$$

При длительном действии нагрузки к мгновенным деформациям добавляются деформации текучести. Поэтому при длительном действии нагрузки достижение предельной деформации и разрушение материала происходит при меньших напряжениях, чем при мгновенном.

В зависимости от вида деформации, вызванной внешней силой, различают прочность материала при сжатии, осевом растяжении, изгибе, срезе и т.п.

Предел прочности при сжатии, $R_{\text{сж}}$, равен частному от деления разрушающей силы, $P_{\text{разр}}$, на первоначальную (расчетную) площадь сечения, F , нормального к действующей нагрузке:

$$R_{\text{сж}} = \frac{P_{\text{разр}}}{F}$$

Для определения прочности при сжатии из материалов изготавливают образцы в форма куба (чаще всего) или цилиндра. Для каждого вида материала установлены определенные размеры образцов. Так, например, прочность бетонов определяют испытанием образцов-кубов с размером ребра 70, 100, 150, 200 и 300 мм. Образцы из природного камня имеют размер ребра или диаметра цилиндра 40-50 мм. В некоторых случаях прочность при сжатии определяют, испытывая целые изделия (керамический и силикатный кирпич и камни, пустотелые бетонные стеновые камни и др.

Так как строительным материалам присуща некоторая неоднородность строения, для испытания на прочность изготавливают несколько образцов (как правило не менее 3). Прочность характеризуется средним пределом прочности отдельных образцов, вычисляемая по правилам обработки результатов, установленным для каждого вида материала.

Испытание разрушением проводят на гидравлических прессах, обеспечивающих равномерное нарастание нагрузки усилия на образец с определенной скоростью. Так, при испытании бетонов скорость нарастания сжимающих напряжений должна составлять $(0,6 \pm 0,4)$ МПа/с. Пресс выбирают такой мощности, чтобы ожидаемое значение разрушающей нагрузки находилось в диапазоне от 20 до 80% шкалы сило- измерителя.

Перед испытание образцы измеряют, определяют и помечают пару опорных граней и, при необходимости, взвешивают (для контроля средней плотности). Образец устанавливают в центре нижней опорной плиты пресса так, чтобы его геометрическая ось совпала с равнодействующей сжимающего усилия. Для этого используют разметку на плите пресса. Нагружение образца производят в соответствии с инструкцией по эксплуатации гидравлического пресса. За разрушающее усилие принимают максимальную величину, при которой произошло разрушение образца. Это усилие высвечивается на дисплее, либо фиксируется контрольной стрелкой силоизмерителя.

Измеренная прочность при сжатии одного и того же материала зависит от размера образца. Это объясняется тем, что при сжатии образца возникает его поперечное расширение, которому препятствуют силы трения между опорными гранями образца и плитами пресса. Эти силы удерживают части образца, прилегающие к плитам, от поперечной деформации, при этом, чем меньше высота образца, тем большая часть его объема находится под влиянием сил трения и, таким образом, тем большее усилие на единицу его поперечного сечения необходимо приложить, чтобы образец разрушился.

Влияние размера образцов на измеренную прочность учитывается переходными (масштабными) коэффициентами. Так, для бетонных кубов установлены следующие переходные коэффициенты:

Размер ребра, см	7,07,	10,0,	15,0,	20,0,	30,0
Переходные коэффициенты	0,85	0,95	1,0	1,05	1,10

Прочность крупнозернистых материалов (щебень, гравий) определяют раздавливанием в стальном цилиндре внутренним диаметром и вымотой 150 мм. В цилиндр насыпают испытываемую пробу материала, вставляю в него стальной цилиндрический пуансон и нагружают усилием 200 кН. После этого дробленую пробу взвешивают и просеивают через сито, имеющее размер отверстия в 4 раза меньше минимального размера зерен в исходной пробе. Показатель дробимости вычисляют по формуле

$$Др = \frac{m - m_1}{m} \times 100,$$

где m – масса испытанной пробы, г;
 m_1 – масса остатка на сите, г.

Предел прочности при изгибе определяют испытанием образцов-балочек, опирающихся по краям на две опоры. Нагружение проводят одной или двумя силами, приложенными симметрично по отношению к опорам. При одноточечном нагружении изгибающее усилие прикладывается в середине пролета (расстояния между опорами), а при двухточечном – в 1/3 от расстояния от опор. Предел прочности при изгибе вычисляют по формулам:

$$\text{при одноточечном приложении усилия} \quad R_{изг} = \frac{3P_{разр}l}{2bh^2}$$

$$\text{при двухточечном приложении нагрузки} \quad R_{изг} = \frac{P_{разр}l}{bh^2},$$

где $P_{разр}$ – разрушающее усилие, кН (кгс);

l – расстояние между опорами, м (см);

b – ширина сечения балки в середине пролета, м (см);

h – высота сечения балки в середине пролета, м (см).


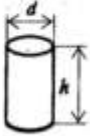
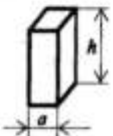

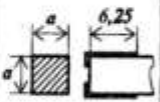
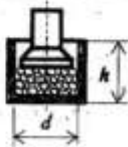
Коэффициент конструктивного качества (ККК) характеризует конструктивную эффективность материала. Его вычисляют делением прочности материала, МПа, на его относительную плотность:

$$ККК = \frac{R_{сж}}{\rho_{ср}}$$

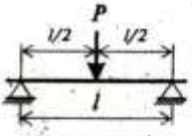
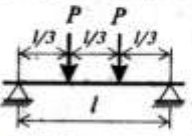
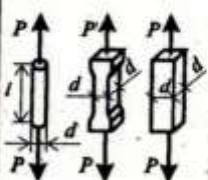
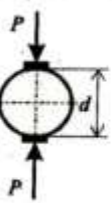
Чем прочнее материал при той же плотности, тем он эффективнее, так как несущие конструкции, изготовленные из такого материала, при той же массе будут обладать

большой несущей способностью. Чем меньше средняя плотность при той же прочности, тем легче будет конструкция при той же несущей способности. Это значит, что уменьшается ее материалоемкость, снижаются нагрузки от ее собственного веса на фундаменты и основания.

Схемы стандартных методов определения прочности при сжатии

Образец	Эскиз	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Куб		$R = \frac{P}{a^2}$	Бетон Раствор	10×10×10; 15×15×15; 20×20×20 7,07×7,07×7,07;
			Природный камень	5×5×5 и др.
Цилиндр		$R = \frac{4P}{\pi d^2}$	Бетон	d=15; h=30
			Природный камень	d=h=5; 7; 10; 15
Призма		$R_{пр} = \frac{P}{a^2}$	Бетон	a=10; 15; 20 h=40; 60; 80
			Древесина	a=2; h=3
Составной образец		$R = \frac{P}{S}$	Кирпич	a=12; b=12,3; h=14
Половина образца-призмы изготовленной, из цементно-песчаного раствора		$R = \frac{P}{S}$	Цемент	a=4; S=25 см ²
Проба щебня (гравия) в цилиндре		$Dp = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100$	Крупный заполнитель для бетона	d=15; h=15

**Схемы стандартных методов определения
прочности при изгибе и растяжении**

Образец	Схема испытаний	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Испытание на изгиб				
Призма, кирпич в натуре		$R_H = \frac{3Pl}{2bh^2}$	Цемент	4×4×16;
			Кирпич	12×6,5×25
Призма		$R_{PH} = \frac{Pl}{bh^2}$	Бетон	15×15×15;
			Древесина	2×2×30
Испытание на растяжение				
Стержень, восьмерка, призма		$R_P = \frac{P}{a^2}$	Бетон	5×5×50; 10×10×80
		$R_P = \frac{4P}{\pi d^2}$	Сталь	d = 1; l = 5; l > 10d
Цилиндр		$R_{PP} = \frac{2P}{\pi dl}$	Бетон	d = 15

Твердость - способность материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого материала. Твердость древесины, металлов, пластмасс и др. строительных материалов определяют, вдавливая в них твердый шарик или наконечник (индентор) в виде конуса или пирамиды под действием определенной силы или на определенную глубину. Показателем твердости является отношение вдавливающей силы к площади отпечатка.

Истираемость – способность материала сопротивляться истирающим воздействия (например, истирание поверхности дорожных покрытий колесами автотранспорта и т.п.). Она оценивается потерей массы образца под действием абразивного материала, отнесенной к площади истирания. При этом для разных материалов установлены определенный вид абразивного материала и продолжительность истирания.

Износостойкость – способность материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и ударов. Это свойство особенно важно для бетонов, применяемых в покрытиях дорог, тротуаров, полах полов цехов, в которых используется внутрицеховой колесный транспорт.

2.4. Химические свойства

Кислотостойкость, щелочестойкость, солестойкость.

2. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

В строительстве природные каменные материалы применяются:

- в качестве материалов для получения полуфабрикатов (щебень, гравий, песок, глина и др.) или строительных изделий (строительный камень, блоки, плиты и т.п.);
- в качестве сырья для получения искусственных строительных материалов (вяжущих, керамики, стекла и др.).

Горной породой называется природный минеральный материал более или менее определенного состава и строения, являющийся продуктом геологических процессов и образующий в земной коре самостоятельные тела.

Горные породы состоят из минералов.

Минералом называют природное химическое соединение определенного химического состава и строения, обладающее вполне определенными физико-механическими и химическими свойствами.

Свойства горных пород зависят от свойств и количественного содержания входящих в их состав. Минералы, которые в максимальной мере определяют свойства горной породы (или определенной группы пород) называются *породообразующими*.

В зависимости от количества породообразующих минералов горные породы бывают мономинеральными (содержащие один породообразующий минерал) и полиминеральными (состоящие из двух и более породообразующих минералов).

В зависимости от условий образования породы делят на три класса:

- магматические;
- осадочные;
- метаморфические.

2.1. Магматические горные породы

Магматические горные породы образовались в результате остывания расплавленной магмы, проникшей из мантии в земную кору или на ее поверхность. В зависимости от того, в каких условиях происходило остывание магмы, образовавшееся магматические породы подразделяются на *глубинные*, образовавшиеся при медленном остывании магмы внутри земной коры (граниты, сиениты, диориты, габбро и др.), *излившиеся массивные*, образовавшиеся при остывании магмы либо вблизи к поверхности, либо на поверхности (диабазы, базальты, порфиры и др.), и *обломочные (вулканические)*, образовавшиеся при извержении магмы в атмосферу (рыхлые: вулканический пепел, песок, пемза; цементированные: вулканический туф, туфовая лава).

Основными породообразующими минералами магматических горных пород являются кварц, полевые шпаты, слюды, железисто-магнезиальные.

Кварц – кристаллическая форма SiO_2 , обладающая высокой прочностью на сжатие (2000 МПа) и прочностью на растяжение (до 100 МПа). Для него характерна очень высокая твердость (по шкале Мооса -7), кислотостойкость (растворяется только в плавиковой кислоте). С щелочами при обычных температурах в реакцию не вступает, а связывается с ними только при повышенных температурах. Характер-

ной особенностью кварца является его аномальное расширение при нагревании до температуры 575°C, в связи с чем породы, содержащие кварц в больших количествах, являются нежаростойкими.

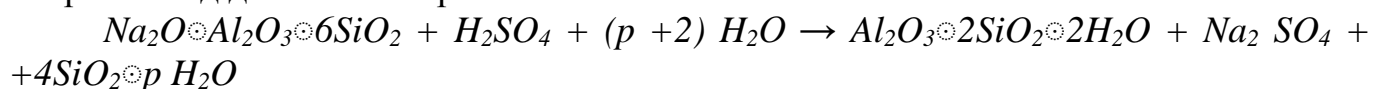
Полевые шпаты – это алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов $R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2$. Они больше всех других минералов распространены в природе. В магматических породах на их долю приходится около 70% общей массы. Главными разновидностями полевых шпатов являются *ортоклаз* и *плагиоклаз*.

Ортоклаз (пряморраскалывающийся) – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$. Является породообразующим минералом кислых и средних магматических пород.

Плагиоклаз (косораскалывющийся) – образует ряд от альбита

$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ до анортита $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$.

Характерной особенностью полевых шпатов является их относительно невысокая стойкость против выветривания под действием кислот, растворенных в атмосфере. Примером такого выветривания может служить реакция разложения анортита под действием серной кислоты:



В результате разложения образуются каолинит ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), сульфат натрия (Na_2SO_4) и кремнекислота ($4SiO_2 \cdot p H_2O$).

Эту реакцию называют реакцией *каолинизации*.

В группу слюд входят *мусковит* (почти бесцветный) и *биотит* (темного цвета). Для слюд характерно отсутствие спайности, благодаря чему они могут быть расщеплены на тончайшие пластинки. Поэтому слюды понижают прочность пород и стойкость их против выветривания.

Железисто-магнезиальные минералы, называемые еще *темноокрашивающими*: оливин, пироксены, амфиболы и др. Для них характерны темная окраска в различные цвета, высокая прочность и вязкость. В основном благодаря этим минералам породы имеют самую разнообразную окраску.

Глубинные горные породы образовались в результате медленного остывания магмы при одновременном действии огромных давлений. Это предопределило их высокую плотность и выраженное кристаллическое строение. К важнейшим глубинным породам относятся граниты, сиениты, диориты, габбро.

Граниты состоят в основном из полевых шпатов (60-65%), кварца (25-30%) и слюды (5-0%). Они имеют высокую прочность при сжатии (120-250 МПа), морозостойкость, малое водопоглощение. Недостатком гранитов является их низкая жаростойкость, обусловленная большим содержанием кварца. В связи с разнообразной окраской полевых шпатов и присутствием темноокрашенных минералов граниты имеют разнообразие преобладающих цветов: они бывают белые, серые, желтые, розовые и др. с включениями, отличающимися по цвету от основного цвета. Это придает им хорошие декоративные качества.

Граниты применяют для изготовления плит и камней для облицовки цоколей зданий, гидротехнических сооружений (набережные, причальные пирсы, опоры мостов) устройство полов в общественных зданиях, для приготовления щебня и т.п.

Сиениты состоят в основном из полевых шпатов (80-90%) и окрашивающих минералов. По своим физико-механическим показателям они близки к гранитам, в связи с чем имеют те же области применения.

Диориты благодаря мелкокристаллическому строению обладают высокой прочностью при сжатии (180-240 МПа). Применяют их в качестве бутового камня, щебня.

Габбро состоит из полевого шпата (около 50%) и пироксена. Порода темного до черного цвета. Обладает высокой вязкостью и полируемостью. Прочность при сжатии 200-300 МПа. Разновидность габбро – лабродорит – обладает уникальной способностью – в полированном виде иридировать солнечный свет, то есть разлагать его на отдельные цвета. Габбро и лабродориты применяют как облицовочные материалы.

Излившиеся породы образовались при выходе расплавленной магмы близко поверхности и на поверхность земной коры, либо при ее извержении из вулканов. В зависимости от этого они бывают массивными (скальными) или обломочными

При остывании магмы вблизи к поверхности земной коры образуются порфиры – бескварцевые и кварцевые. Характерной особенностью строения порфиров являются вкрапленные крупинки кристаллов полевых шпатов или кварца в мелкокристаллической массе породы.

При извержении магмы на поверхность земной коры образуются массивные (скальные) породы преимущественно мелкокристаллического, скрытокристаллического или даже стекловидного строения. В связи с меньшим давлением, действовавшим на магму до ее остывания, эти породы имеют большую пористость, чем глубинные. К важнейшим породам этой группы относятся базальт, диабаз, андезиты, а также трахиты и липариты.

Базальты – аналоги габбро – породы черного цвета, очень плотные, скрытокристаллического и тонкозернистого строения. Плотность базальтов 2750-3000 кг/м³, прочность – от 100 до 500 МПа. Применяются в качестве бутового камня, щебня для бетонгов, брусчатки. Из базальтовых расплавов получают минеральное волокно и штучные изделия (дорожный камень).

Андезиты – аналоги диоритов. Это порода серого или желто-серого цвета с порфировой структурой. Основная масса породы имеет скрытокристаллическое строение, прочность в среднем около 200 МПа. По химическому составу они кислые, в связи с чем их применяют для кислотостойких облицовок, а также в качестве заполнителей и наполнителей в кислотоупорных бетонах.

Трахиты – аналоги сиенитов, но более пористые. Прочность при сжатии их относительно невелика – 60-70 МПа. Они так же, как андезиты, являются кислыми породами. Применяются в качестве щебня в обычных и кислотоупорных бетонах и виде строительного камня.

Липариты – кислые породы, являющиеся аналогами гранитов, применяются так же как и трахиты.

При извержении магмы из вулканов остывание ее происходит очень быстро. Вследствие резкого перепада давления содержащиеся в ней газообразные вещества вспучивают ее, в результате чего образуются пористые *вулканические* породы. Их называют также обломочными в связи с тем, что в момент извержения дробится на мелкие или крупные частицы, которые и остывают, а затем оседают на поверхности земли. Со временем рыхлые обломки уплотняются и цементируются либо природными цементами (вулканическим пеплом, глинистыми и др. веществами), либо расплавленной магмой при последующих извержениях. К вулканическим породам относятся: вулканический пепел, песок, пемза, туфы и туфовые лавы.

2.2. Осадочные горные породы

Осадочные горные породы образовались из продуктов выветривания магматических и метаморфических пород, а также отложения остатков растительных и животных организмов. В связи с этим осадочные породы подразделяются на три основные группы: механические отложения, химические осадки и органогенные (биохимические) отложения.

Механические (обломочные) породы образовались в результате механического разрушения массивных пород под действием смен температуры окружающей среды и совместного действия влаги и мороза. Так образовались рыхлые породы (щебень, гравий, галька, песок). К тонкодисперсным обломочным породам относятся и глины, образовавшиеся при химическом разложении полевошпатных пород. При цементации рыхлых обломком (песка, щебня, гравия) природными цеменитами (преимущественно кальцитом, кремнеземом, глиной, гипсом) образовались цементированные осадочные породы (песчаники, брекчии, конгломераты).

Химические осадки представляют собой отложения солей, образовавшихся при химическом выветривании магматических пород. Они в основном представлены отложениями кальцита, гипса, магнезита, доломита.

Органогенные породы образовались в результате накопления и цементации (как правило, очень слабой) скелетов растительных и животных организмов. На ранней стадии эволюции животного мира скелетообразующим соединением был кремнезем. Поэтому и породы, образовавшиеся в этот период, имеют кремнеземистый состав (диатомиты, трепелы, опоки). В последующем периоде и до настоящего времени скелетообразующим веществом является карбонат кальция. Породы, образовавшиеся из остатков организмов этого периода, имеют карбонатный состав (мел, известняк-ракушечник).

Породообразующие минералы осадочных пород

Рыхлые обломочные породы состоят из минералов, входящих в состав исходных горных пород.

Важнейшими породообразующими минералами осадочных пород являются кварц, опал, халцедон, карбонаты, сульфаты, глинистые минералы.

Кварц имеет либо магматическое происхождение, либо образован непосредственно из раствора или в результате кристаллизации аморфных разновидностей. Магматический кварц представлен кварцевыми песками и песчаниками, а перекристаллизованный кремнезем выполняет роль цементирующего вещества в песчаниках и других цементированных породах.

Опал ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) – аморфный кремнезем, обладающий активностью при взаимодействии с щелочами.

Халцедон (SiO_2) образуется в результате кристаллизации опала.

Присутствие опала и халцедона в заполнителях бетона (щебне, гравии, песке) нежелательно, так как при взаимодействии с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ цементного камня образуют соединения с увеличением объема, что вызывает разрушение бетонов, эксплуатируемых во влажной среде.

Группа карбонатов представлена в основном кальцитом, магнезитом и доломитом.

Кальцит (CaCO_3) – минерал белого цвета или бесцветный, может быть окрашен примесями в различные цвета. Является породообразующим минералом извест-

няков, мела, мергелей. Он очень бурно взаимодействует с разбавленной соляной кислотой, выделяя углекислый газ:



При нагревании до температур 800-900 °С кварц диссоциирует с выделением углекислого газа:



Эта особенность кальцита лежит в основе получения извести, портландцемента и некоторых других минеральных вяжущих веществ.

Магнезит (MgCO_3) – бесцветный или слегка окрашенный минерал. Является породообразующим минералом породы с таким же названием. При нагревании до температуры 650-750°С он, так же как и кальцит, разлагается, образуя каустический магнезит:



При затворении MgO растворами магниевых солей соляной или серной кислот получают магнезиальные вяжущие вещества, приобретающие после затвердевания высокую прочность, сопоставимую с прочностью затвердевшего портландцемента.

Доломит ($\text{MgCO}_3 \odot \text{CaCO}_3$) – бесцветный или слегка окрашенный минерал. Является породообразующим минералом породы с таким же названием. При нагревании до температуры 650-750°С частично разлагается, образуя каустический доломит:



Так же как и каустический магнезит, обожженный доломит при затворении растворами солей соляной и серной кислот твердеет, достигая высокой прочности, но меньшей, чем MgO . При нагревании до температуры 900-1000°С доломит полностью декарбонизируется:



Эта реакция лежит в основе получения магнезиальной и доломитовой извести.

Группа *глинистых минералов* представлена водными алюмосиликатами с общей формулой $\text{Al}_2\text{O}_3 \odot n\text{SiO}_2 \odot m\text{H}_2\text{O}$. Глинистые минералы слагают глины и могут входить в состав других осадочных пород: песчаников, суглинков и др. К важнейшим минералам этой группы относятся каолинит, монтмориллонит, гидрослюда.

Каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \odot 2\text{SiO}_2 \odot 2\text{H}_2\text{O}$) – минерал белого цвета. Он образовался в виде тонких слоистых частиц. При нагревании до температуры выше 450-500°С каолинит дегидратируется, образуя безводный алюмосиликат.

Монтмориллонит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \odot 4\text{SiO}_2 \odot 3\text{H}_2\text{O}$) – минерал, обладающий способностью сильно набухать при увлажнении.

Гидрослюда – водные алюмосиликаты сложного и непостоянного химического состава, способны при нагревании до температуры выше 600 °С многократно (до 20 раз) увеличиваться в объеме. **Одна из разновидностей гидрослюд – вермикулит**

является сырьем для получения очень легкого пористого заполнителя бетонов – вспученного вермикулита.

В группу *сульфатов* входят гипс и ангидрит.

Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – белый или слегка окрашенный минерал. Является породообразующим минералом породы – гипсового камня. При нагревании до температуры выше 100°C он подвергается частичной дегидратации:



На этой реакции основана технология получения строительного и высокопрочного гипса. При более высокой температуре (выше 200°C) гипс полностью отдает воду, превращаясь в различные формы ангидрита.

Ангидрит (CaSO_4) – белый или слегка окрашенный минерал. Является породообразующим минералом породы с таким же названием.

Обломочные породы

К рыхлым обломочным породам относятся щебень, гравий, валуны, песок, глины. Щебень, гравий и песок применяют в качестве заполнителей тяжелых бетонов. Чистые кварцевые пески используют в качестве сырья для получения стекла, растворимого стекла, как один из компонентов автоклавных вяжущих веществ.

При цементации рыхлых пород природными цементами образовались цементированные породы: брекчии, конгломераты, песчаники, которые используют как строительный и облицовочный камень.

Глинистые породы сложены в основном частицами размером менее 0,01 мм. Большинство глин являются полиминеральными и помимо глинистых минералов содержат в своем составе мелкие обломки кварца, полевого шпата, карбонатов и других минералов.

Глинистые породы находят широкое применение в качестве основного сырья в производстве керамических и огнеупорных материалов, портландцемента

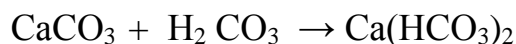
Химические осадки

Химические породы (соли) образовались в результате отложения из растворов солей, образовавшихся при химическом выветривании магматических пород. Из наиболее применяемых в строительстве эту группу входят карбонатные, сульфатные и аллитовые породы.

Карбонатные породы представлены известняками, мергелями, магнезитами и доломитами.

Известняки бывают плотными и пористыми (известковые туфы). Обе разновидности известняков состоят в основном из кальцита. Однако, в связи с осадочным происхождением в известняках могут содержаться в виде примесей и другие минералы: кварц, полевые шпаты, кремнезем, окрашивающие и глинистые минералы. Пористость плотных известняков составляет десятые доли процента, а пористых – доходит до 15-25%. В зависимости от вида и содержания окрашивающих минералов плотные известняки могут иметь различную окраску: белую, желтоватую, бурую, серую и др. Прочность плотных известняков может достигать 100-120 МПа. Они хорошо пилятся, шлифуются и полируются. Применяют плотные известняки для получения щебня и дробленого песка, а также при изготовлении поит для внутренних работ. В наружной облицовке их применять не рекомендуется, особенно в регионах

с повышенной влажностью воздуха, так как под действие углекислого газа, содержащегося в воздухе, происходит коррозия лицевой поверхности вследствие образования легкорастворимого бикарбоната кальция:



Известняки применяют также в качестве основного сырьевого компонента при производстве извести (воздушной и гидравлической) и портландцемента.

В природе довольно часто встречаются известняково-глинистые породы, в которых содержание глинистых минералов от 25 до 50%. Такие породы называют *мергелями*. Мергели являются основным сырьем при производстве портландцемента.

Магнезиты состоят в основном из минерала магнезита MgCO_3 . Как строительный камень магнезиты не применяют, однако они являются единственным сырьем для производства, магнезиального вяжущего (каустического магнезита), а также для получения огнеупорных материалов.

Доломиты представляют собой твердый раствор двух солей MgCO_3 и CaCO_3 . Они по своим свойствам похожи на плотные известняки. Применяют доломиты в качестве щебня для бетона, а также при производстве магнезиальной и доломитовой извести, каустического доломита и огнеупорных материалов.

Сульфатные породы представлены гипсовым камнем и ангидритом.

Гипсовый камень в основном состоит из минерала гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а также механических примесей: кварца, кремнезема, глинистых минералов.

Гипсовый камень применяется для изготовления стеновых камней и облицовочных плит, предназначенных для эксплуатации при невысокой (до 60%) влажности воздуха, и является основным сырьем в производстве гипсовых вяжущих веществ.

Ангидрит состоит в основном из минерала ангидрита CaSO_4 . Он может иметь различную окраску – от белой до серовато-голубой. Ангидрит применяют для изготовления облицовочных изделий, а также в качестве сырья при производстве ангидритовых вяжущих.

Аллитовые породы содержат в своем составе глинозем Al_2O_3 . Наиболее яркими представителями этих пород являются *бокситы*, применяемые в качестве основного компонента при производстве глиноземистого цемента.

Органогенные (биохимические) породы

Осадочные органогенные породы представлены двумя группами: кремнистыми и карбонатными.

К *кремнистым* породам принадлежат пористые диатомиты, трепелы и опоки, а также плотные – яшмы. Они состоят из аморфного водного или безводного кремнезема и образовались в результате отложения и уплотнения (цементации) до разной степени микроскопических скелетов водорослей – диатомей и радиолярий. Диатомиты, трепелы и опоки, благодаря большому количеству в них активного кремнезема, очень широко применяются в качестве гидравлических добавок к цементам и извести. Их применяют также в производстве огнеупорных теплоизоляционных материалов (например, диатомовый кирпич).

К *карбонатным* породам относятся известняки-ракушечники и мел.

Известняки-ракушечники образовались в результате цементации (как правило, кальцитом) панцирей моллюскообразных организмов. Они обладают относительно небольшой плотностью (0,8-1,8 г/см³) и поэтому из них часто выпиливают

стенные камни. В дробленом виде их используют в качестве щебня для облегченных и легких бетонов. При обжиге из них получают воздушную известь.

Мел – осадочная более или менее сцементированная порода, образованная аморфным карбонатом кальция, легко размокает. Применяют мел для приготовления красочных составов в виде наполнителя или белого пигмента, а также в производстве воздушной извести.

2.3 *Метаморфические породы*

Эти породы образовались в результате метаморфизма (видоизменения) магматических или осадочных пород под действием высоких давлений и сопутствующих им повышенных температур. Такие условия чаще всего возникают в результате деформации земной коры. Для метаморфических пород характерны пластовое строение и высокая плотность. Минералогический состав метаморфических пород соответствует составу пород, из которых они образовались.

К метаморфическим породам относятся: сланцы (глинистые, кремнистые), гнейсы, кварциты, мрамор.

Глинистые сланцы образовались в результате метаморфизма глин. При этом под действием высоких температур происходила дегидратация глинистых минералов, в результате чего они становились водостойкими. Глинистые сланцы легко раскалываются на тонкие пластинки, из них изготавливают кровельные плитки.

Кремнистые сланцы образовались при метаморфизме кремнистых песчаников. Для них также характерна способность раскалываться, образуя плитки разной толщины.

Гнейсы образовались при метаморфизме магматических пород. Для них также является характерной слоистость строения и раскалывание в направлении слоистости. Они обладают высокой плотностью и прочностью перпендикулярно слоям. Применяют гнейсы для получения щебня и плит для мощения улиц, площадей.

Кварциты образовались вследствие перекристаллизации кварцевых или кремнистых песчаников. Содержание кварца в них достигает 95-99%, в связи с чем прочность у них высокая – от 100 до 450 МПа. Так как кварц при метаморфизме перешел в модификацию тридимита, кварциты обладают высокой огнеупорностью – до 1770°C. Применяют кварциты для изготовления подферменных камней на опорах мостов, получения кислотоупорных материалов. Кварциты с красивой окраской применяют для изготовления облицовочных изделий.

Мраморы – перекристаллизованные разновидности известняка и мела. Прочность их достаточно высока – от 100 до 300 МПа, но при этом они легко механически обрабатываются: пилятся, шлифуются, полируются. Мраморы имеют самую разнообразную окраску и поэтому широко используются для внутренней отделки стен и полов, изготовления ступеней лестниц и архитектурно-декоративных изделий. В виде песка и мелкого щебня (крошки) мраморы используют в цветных штукатурках, декоративных бетонах.

3. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1. Классификация керамических материалов и изделий

По структуре:

- пористые с водопоглощением по массе $W_m > 5\%$ (обычно 8-10%) – стеновые, кровельные, облицовочные, дренажные тубы и др.;
- плотные с водопоглощением по массе $W_m \leq 5\%$ (обычно 1-4%) – плитки для полов, дорожный кирпич, канализационные трубы.

По назначению:

- стеновые – кирпич полнотелый и пустотелый, пустотелые камни;
- кровельные – черепица;
- облицовочные – лицевой кирпич, плитки, архитектурно-художественные детали;
- отделочные – глазурованные плитки, фасонные изделия к ним;
- плитки для пола;
- санитарно-технические;
- дорожные – дорожный кирпич «керамдор»;
- огнеупорные;
- теплоизоляционные – перлитокерамика, ячеистая керамика;
- кислотоупорные – кирпич, плитки;
- изделия для подземных коммуникаций – дренажные и канализационные трубы;
- пористые заполнители для легких бетонов – керамзит, аглопорит.

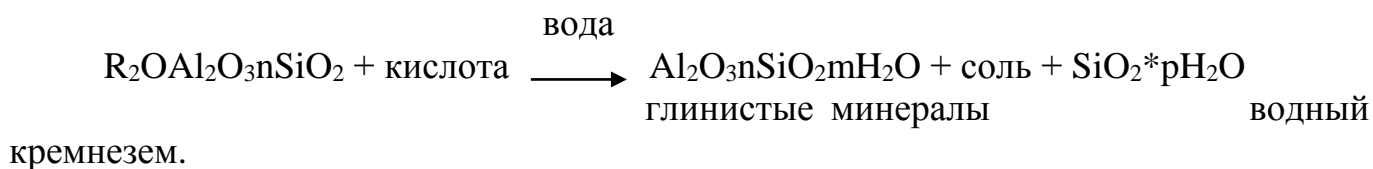
По температуре плавления:

- легкоплавкие с $t_{пл} < 1350\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- тугоплавкие с $t_{пл} = 1350-1580\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- огнеупорные с $t_{пл} = 1580-2000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.2. Характеристика сырья

В производстве керамических материалов применяется природное глинистое сырье и добавочные материалы.

Глинистое сырье (глины и каолины) – продукты выветривания изверженных полевошпатных пород. Выветривание полевых шпатов, являющихся алюмосиликатами щелочных и щелочноземельных металлов, происходит по реакции каолинизации (R_2O - оксид щелочного или щелочноземельного металла).



При этом образуются глинистые минералы: каолинит, монтмориллонит, гидрослюда и др., представляющие собой очень мелкие (менее 0,001 мм) частицы слоистого (чешуйчатого) строения. Именно поэтому глинистые минералы при смешивании с водой образуют пластичное тесто. В глинах наряду с глинистыми частицами присутствуют зерна кварца, карбонатов, сульфатов кальция, соединения железа. Эти вещества не образуют пластичного теста и поэтому выполняют роль отощителей.

Для регулирования формовочных, сушильных и обжиговых свойств глин, а также с целью придания специальных свойств изделиям в глину вводят добавочные материалы:

- отошающие;
- порообразующие;
- пластифицирующие;
- плавни,

а также гидрофилизующие, гидрофобизирующие поверхностно-активные вещества (пав), электролиты.

Керамические материалы, предназначенные для наружной облицовки фасадов и внутренней отделки помещений с целью повышения водонепроницаемости и улучшения внешнего вида покрывают декоративным слоем - глазурью или ангобом.

Глазурь – стекловидное покрытие толщиной 0,1-0,3 мм, нанесенное на изделие и закрепленное обжигом.

Глазури бывают прозрачными, глухими, бесцветными, окрашенными.

Ангоб – тонкий слой беложгущейся или цветной глины, наносимый на лицевую поверхность керамических изделий, закрепляемый на материале последующим обжигом.

3.3. Обобщенная технологическая схема производства керамических изделий

Различные керамические материалы и изделия изготавливают разными технологическими приемами, однако основные этапы их производства являются общими и состоят из:

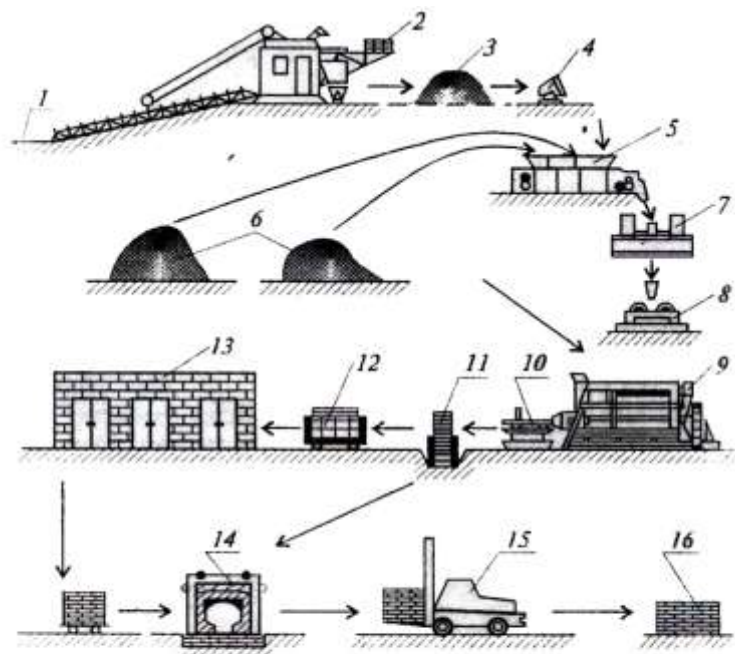
- добычи глинистого сырья;
- подготовки формовочной массы;
- формование сырца;
- сушки сырцовых изделий (при необходимости);
- обжига сырца.

Добытую в карьере глину подвергают предварительной подготовке с целью усреднения состава и ее разрушения. Для этого применяют естественную и механическую обработку. Естественная обработка заключается в вылеживании добытой глины под открытым небом в течение длительного времени (иногда до 1-2 лет).

Механическая подготовка глины предназначена для получения формовочной массы необходимой гранулометрии и влажности. Для этого используют различные агрегаты: глинорыхлители, камневывалители, дырчатые вальцы, а также вальцы грубого и тонкого помола и др.

В зависимости от способа формования формовочная масса должна иметь влажность:

- при сухом способе – 2-6%;
- полусухом – 8-12%;
- жестком – 13-18%;
- пластическом – 18-28%;
- литьевом- 40% и более.



Технологическая схема производства керамического кирпича:

1 - карьер глины; 2 - экскаватор; 3 - глинозапасник; 4 - вагонетка;
5 - ящичный подаватель; 6 - добавки; 7 - бегуны; 8 - вальцы; 9 - ленточный пресс; 10 - резак; 11 - укладчик; 12 - тележка; 13 - сушильные камеры;
14 - туннельная печь; 15 - самоходная тележка; 16 - склад

3.1. Добыча и подготовка глиняной массы

Способы формования изделий

Сухой способ заключается в уплотнении малоувлажненной формовочной массы при уплотняющем давлении, достигающем до 50-60 МПа. Этот способ применяют для формования плиток для пола. После завершения уплотнения (2- 3 с) сырьевые изделия выталкиваются из матриц, снимаются с пресса и направляются на обжиг, минуя процесс сушки.

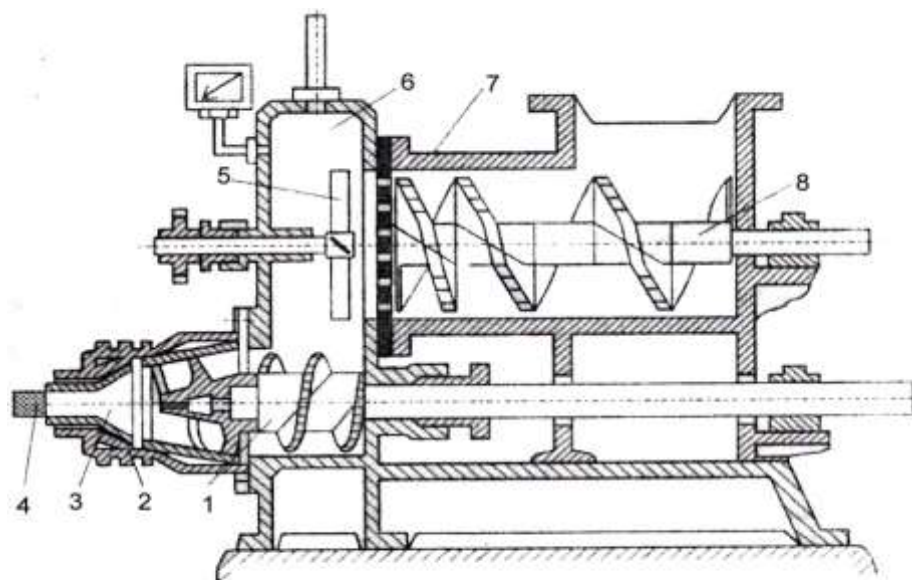
Полусухой способ применяют при формовании изделий как стеновой кирпич полусухого прессования и облицовочные плитки. Изделия формуют прессованием при уплотняющем давлении 15-30 МПа. После выпрессовки из матриц сырец направляют на сушку и обжиг.

Пластический способ позволяет формовать не только полнотелые, но и пустотелые изделия. Для этого применяют ленточные прессы.

Жесткий способ – усовершенствованный пластический способ, позволяющий за счет более высокого давления (до 5 МПа) применять глиняные массы с меньшей влажностью, чем при пластическом способе, а значит и менее чувствительные к сушке.

Пластическим и жестким способами изготавливают полнотелый и пустотелый кирпич, пустотелые камни, ленточную черепицу.

Из пластичных глиняных масс черепицу изготавливают также методом *штампования*. Изделия формуют на стальных поддонах с помощью штампа, который имеет конфигурацию, соответствующую конфигурации черепицы.



Ленточный вакуумный пресс

1 - шнековый вал; 2 - прессовая головка; 3 - мунштук; 4 - глиняный брус;
5 - крыльчатка; 6 - вакуум-камера; 7 - решетка; 8 - глиномялка

Литьевой способ применяют для изготовления изделий сложной формы (санитарно-технических, декоративных), а также плиток для внутренней отделки стен. Изделия формуют из сильно обводненной глины (42-47%), приготавливаемой в виде суспензии – шликера. Формование производят в массивных гипсовых формах (изделий сложной формы) или на гипсовых поддонах (облицовочные плитки). Сущность способа заключается в способности гипсовых форм отбирать воду из глиняной суспензии. При этом происходит оседание глиняных частиц на стенках формы или на поддоне, приводящее в конечном итоге к формированию слоя требуемой толщины.

Сушка сырца

Основное назначение сушки – удаление из сырца влаги, содержащейся в нем на момент формования изделий. Сушку необходимо вести при таких режимах, при которых количество воды, испаряющейся с поверхности было бы по крайней мере не больше количества воды, поступающей к поверхности испарения из внутренней зоны изделия. В противном случае на поверхности изделий могут образоваться усадочные трещины и даже может произойти коробление изделий.

Сушку проводят в три периода: прогрева, постоянной скорости сушки, падающей скорости сушки, ее осуществляют в *сушильных камерах (сушилах)* периодического или непрерывного действия.

Сушила периодического действия, называемые *камерными*, работают циклами: загрузка, сушка, выгрузка.

В сушилах *непрерывного действия* (туннельных и конвейерных) изделия на сушильных вагонетках или конвейерах непрерывно перемещаются вдоль внутреннего пространства камеры, проходя последовательно все периоды сушки.

Обжиг изделий

Обжигом называется процесс высокотемпературной обработки глиняного сырца, в результате которой он превращается в камнеподобное тело, стойкое против механических, физических и химических воздействий.

В процессе нагрева глинистые минералы и компоненты керамической шихты претерпевают ряд сложных физико-химических изменений, среди которых основ-

ными являются: удаление остаточной влаги, выгорание органических примесей, дегидратация глинистых минералов, декарбонизация карбонатов, образование расплава (жидкой фазы), спекание, остывание.

Обжиг керамических изделий проводят в печах следующих типов: кольцевых, туннельных, щелевых.

Кольцевая печь представляет собой замкнутый сквозной канал овальной формы, являющийся рабочим пространством печи. В наружных стенах канала имеются проемы для загрузки сырца и выгрузки готовых изделий. Сырец в печи неподвижен, а тепловые зоны перемещаются по обжиговому каналу благодаря последовательному сжиганию топлива. Таким образом, температурные зоны постепенно перемещаются в направлении, в которые последовательно по кольцу загружается топливо. Весь цикл обжига в кольцевой печи длится от 3 до 5 суток.

Туннельные печи представляют длинные обжиговые каналы, в которых движутся обжиговые вагонетки с сырцом, последовательно проходя тепловые зоны. Садку и выгрузку производят вне печи, что позволяет полностью механизировать операции и улучшить условия труда. В туннельных печах процесс обжига длится от 1,5 до 3 суток.

Щелевые печи являются разновидностью туннельных печей и отличаются от них тем, что в них обжигаемые изделия укладываются в один ряд на ленточные или роликовые конвейеры. В этом случае улучшаются условия обжига, т.к. изделия равномерно со всех сторон омываются топочными газами.

3.4. Стеновые изделия (кирпич и камни)

Стеновые изделия подразделяют на рядовые и лицевые.

Лицевые кирпич и камень по виду лицевой поверхности изготавливают:

- с гладкой и рельефной поверхностью;
- с поверхностью, офактуренной торкретированием, ангобированием, глазурированием, двухслойным формованием, нанесением полимерного покрытия или иным способом. Лицевые изделия могут быть естественного цвета или объемно окрашенными.

Кирпич изготавливают полнотелым и пустотелым, камень — только пустотелым. Кирпич с несквозными пустотами относят к полнотелому.

Пустоты в изделиях могут располагаться перпендикулярно (вертикальные) или параллельно постели (горизонтальные). Примеры пустотелых изделий приведены на рис. 1-4.

По прочности изделия (кроме крупноформатного камня и кирпича и камня с горизонтальными пустотами) подразделяют на марки М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300; крупноформатные камни — М35, М50, М75, М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300; кирпич и камень с горизонтальными пустотами — М25, М35, М50, М75, М100.

По морозостойкости изделия подразделяют на марки F25, F35, F50, F75, F100. Лицевые изделия должны иметь марку по морозостойкости не ниже F50.

По показателю средней плотности изделия подразделяют на классы: 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0.

По теплотехнической эффективности изделия в зависимости от класса средней плотности и теплопроводности подразделяют на группы в соответствии табл. 1.

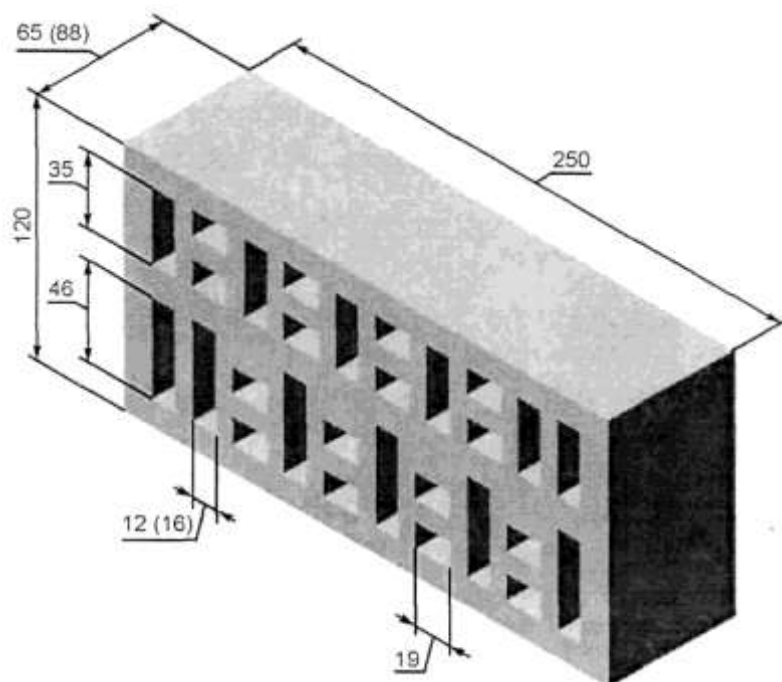


Рис. 1. Кирпич формата 1(1,4) НФ с 28 вертикальными щелевидными пустотами

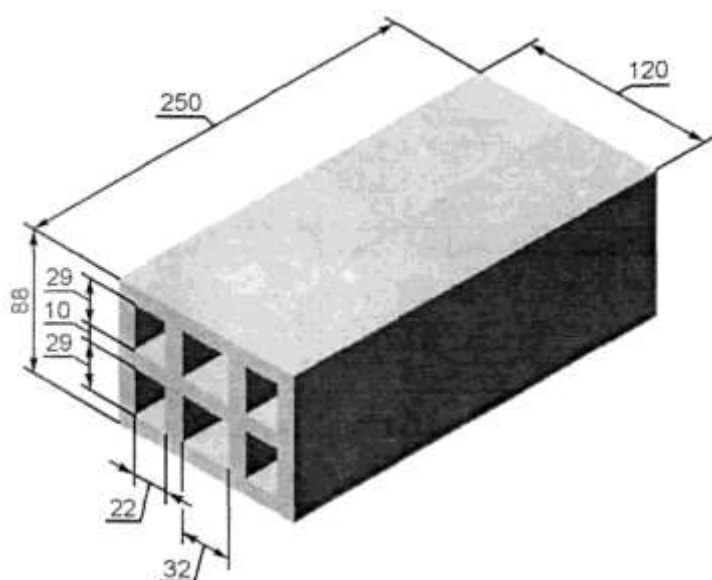


Рис. 2. Кирпич формата 1,4 НФ с шестью горизонтальными пустотами

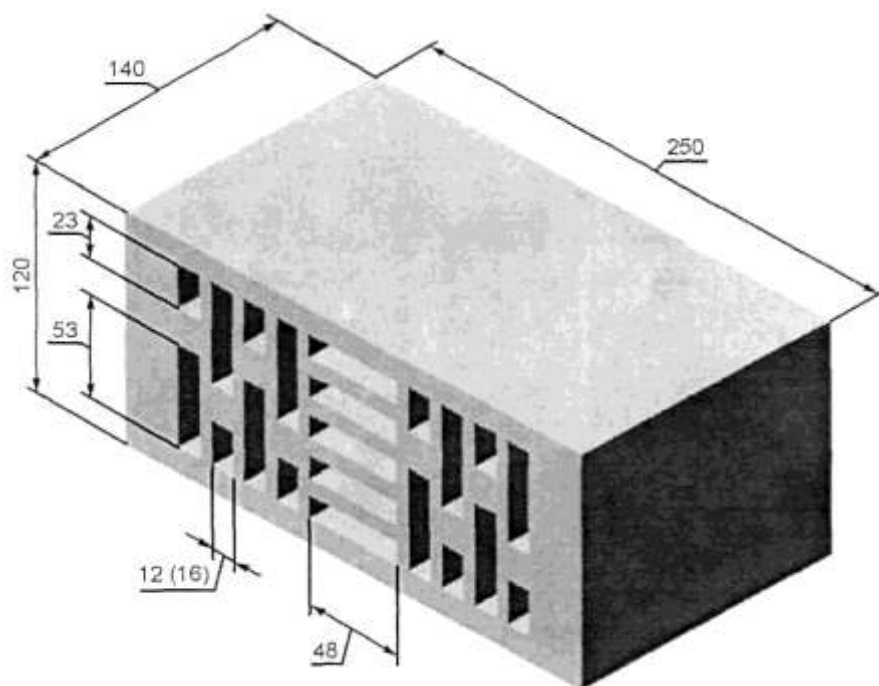


Рис. 3. Камень формата 2,1 НФ с 21 щелевидной пустотой

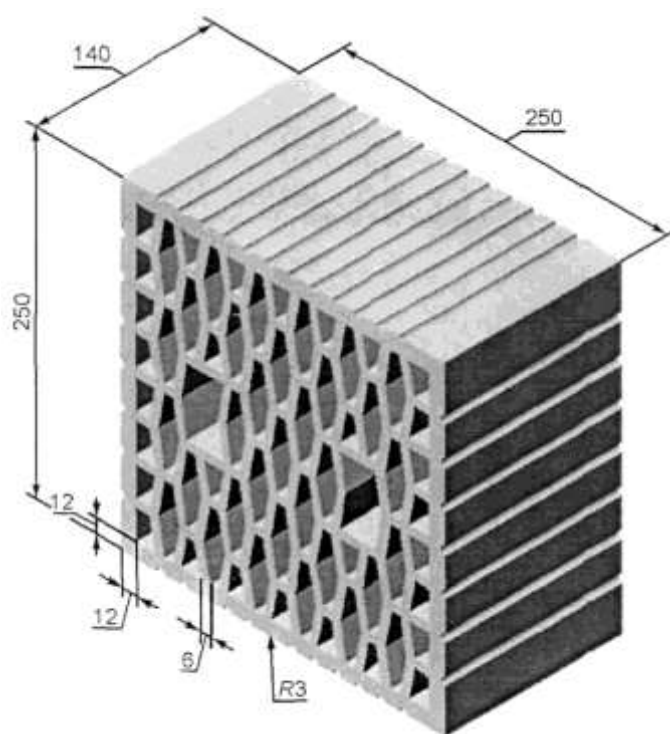


Рис. 4. Камень крупноформатный 4,5 НФ

Таблица 1 – Группы изделий по теплотехническим характеристикам

Класс средней плотности изделия	Средняя плотность, кг/м ³	Теплопроводность кладки сухом состоянии, Вт/мК	Группы изделий по теплотехническим характеристикам
0,8	до 800	до 0,20	Высокой эффективности
1,0	801-1000	св. 0,20 до 0,24	Повышенной эффективности
1,2	1001-1200	св. 0,24 до 0,36	Эффективные
1,4	1201-1400	св. 0,36 до 0,46	Условно-эффективные
2,0	св. 1400	св. 0,46	Малоэффективные (обыкновенные)

Изделия изготавливают номинальными размерами, приведенными в таблице 2.

Таблица 2- Номинальные размеры изделий

Вид изделия	Обозначение вида	Номинальные размеры, мм			Обозначение размера
		Длина	Ширина	Толщина	
Кирпич нормального формата (одинарный)	КО	250	120	65	1 НФ
Кирпич «Евро»	КЕ	250	85	65	0,7 НФ
Кирпич утолщенный	КУ	250	120	88	1,4 НФ
Кирпич модульный одинарный	КМ	288	138	65	1,3 НФ
Кирпич утолщенный с горизонтальными пустотами	КУГ	250	120	88	1,4 НФ
Камень	К	250	120	140	2,1 НФ
		288	288	88	3,7 НФ
		288	138	140	2,9 НФ
		288	138	88	1,8 НФ
		250	250	140	4,5 НФ
		250	180	140	3,2 НФ
Камень крупноформатный	КК	510	250	219	14,3 НФ
		398	250	219	11,2 НФ
		380	250	219	10,7 НФ
		380	255	188	9,3 НФ
		380	250	140	6,8 НФ
		380	180	140	4,9 НФ
		250	250	188	6,0 НФ
Камень с горизонтальными пустотами	КГ	250	200	70	1,8 НФ

Предельные отклонения номинальных размеров не должны превышать на одном изделии, мм:

- по длине:

кирпича и камня (кроме крупноформатного камня) ± 4 ,
каменя крупноформатного ± 10 ;

- по ширине:

кирпича и камня (кроме крупноформатного камня) ± 3 ,
каменя крупноформатного ± 5 ;

- по толщине:

кирпича лицевого ± 2 ,
кирпича рядового ± 3 ,
каменя, в т.ч. крупноформатного ± 4 .

Отклонение от перпендикулярности смежных граней не допускается более:

3 мм — для кирпича и камня;

1,4 % длины любой грани — для крупноформатного камня.

Отклонение от плоскостности граней изделий более 3 мм не допускается.

Лицевые изделия должны иметь не менее двух лицевых граней — ложковую и тычковую. На лицевых изделиях не допускаются высолы и отколы, вызванные включениями, например известковыми. На рядовых изделиях допускаются отколы общей площадью не более 1,0 см².

Пределы прочности изделий при сжатии и изгибе должны быть не менее значений, указанных в таблице 3. Марку кирпича по прочности устанавливают по значениям пределов прочности при сжатии и изгибе, камня — по значению предела прочности при сжатии.

Таблица 3 – Пределы прочности изделий при сжатии и изгибе

Марка изделий	Предел прочности, МПа									
	при сжатии				при изгибе					
	одинарных, «евро» и утолщенных кирпичей; камней		крупноформатных камней		одинарных и «евро» полнотелых кирпичей		одинарных и «евро» пустотелых кирпичей		утолщенных пустотелых кирпичей	
	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для пяти образцов	Наименьший для отдельного образца
M300	30,0	25,0	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7	2,9	1,5
M250	25,0	20,0	25,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5	2,5	1,3
M200	20,0	17,5	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3	2,3	1,1
M175	17,5	15,0	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1	2,1	1,0
M150	15,0	12,5	15,0	12,5	2,8	1,4	2,1	1,0	1,8	0,9
M125	12,5	10,0	12,5	10,0	2,5	1,2	1,9	0,9	1,6	0,8
M100	10,0	7,5	10,0	7,5	2,2	1,1	1,6	0,3	1,4	0,7
M75	—	—	7,5	5,0	—	—	—	—	—	—
M50	—	—	5,0	3,5	—	—	—	—	—	—
M35	—	—	3,5	2,5	—	—	—	—	—	—
Для кирпича и камней с горизонтальным расположением пустот										
M100	10,0	7,5	—	—	—	—	—	—	—	—
M75	7,5	5,0	—	—	—	—	—	—	—	—
M50	5,0	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—
M35	3,5	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—
M25	2,5	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Примечание — При определении предела прочности при сжатии и изгибе кирпича и предела прочности при сжатии камня площадь нагружаемой грани изделия вычисляют без вычета площади пустот.										

Водопоглощение рядовых изделий должно быть не менее 6,0 %, лицевых изделий — не менее 6,0 % и не более 14,0 %.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$ в изделиях должна быть не более 370 Бк/кг.

3.5. Облицовочные изделия

Для облицовки *фасадов* применяют лицевой кирпич и камни, плитки облицовочные и ковры из них. Их изготавливают из тугоплавких глин, дающих после обжига керамический черепок светлого цвета, иногда в сырье вводят пигменты или покрывают их лицевые грани глазурью или ангобом.

По виду лицевой поверхности кирпичи и камни бывают:

- с гладкой поверхностью;
- с рифленой поверхностью;
- с офактуренной поверхностью: торкретированные минеральной крошкой, ангобированные, глазурированные.

Кирпичи и камни лицевые выпускаются марок по прочности 100, 125, 150, 200, 250 и 300; по морозостойкости F50, F75 и F100.

Плитки для наружной облицовки выпускаются методами пластического формования и полусухого прессования. Они бывают глазурированные и неглазурированные. Для облицовки крупных стеновых панелей в заводских условиях применяют ковровую керамику, представляющую собой бумажные ковры, на которые наклеены лицевой поверхностью к бумаге мелкогабаритные плитки (21*21 мм, 50*50 мм) или битая плитка («брекчия»).

Фасадные плитки, укладываемые поштучно, имеют размеры: квадратные от 150 до 300 мм, прямоугольные шириной от 75 до 200 мм и длиной от 150 до 300 мм. Толщина плиток 7 или 9 мм. Морозостойкость плиток для стен должна быть не ниже F40, а для цоколей – F50.

Плитки для *внутренней отделки* бывают майоликовые и фаянсовые.

Майоликовые плитки изготавливают из красножгущихся глин с покрытием глазурью.

Фаянсовые плитки изготавливают из смеси каолина, полевого шпата и кварцевого песка также покрытыми глазурью.

По форме плитки бывают квадратные (с размером от 100 до 200 мм); прямоугольные (длиной 100, 150, 200 мм и шириной 75, 100, 150 мм); фасонные: угловые, карнизные, плинтусные. Толщина плиток от 5 до 8 мм.

3.6. Плитки для полов

Их производят из тугоплавких глин способом полусухого прессования при давлении до 30 МПа. Обжиг плиток ведут при повышенных температурах (1150-1250 °С), что обеспечивает низкое водопоглощение (до 5%). По форме плитки бывают: квадратные, прямоугольные, треугольные, четырехгранные, пятигранные, шестигранные, фигурные.

По виду лицевой поверхности плитки бывают: гладкие, рельефные, неглазурованные, глазурованные (с матовой, блестящей, прозрачной, глухой глазурью), одноцветные, многоцветные, декорированные различными способами.

3.7. Другие керамические изделия и материалы

Санитарно-технические – умывальники, унитазы, сливные бачки и др.

Их изготавливают из фарфоровых, полуфарфоровых и фаянсовых масс способом отливки в гипсовых формах. Изделия покрывают белой или цветной глазурью для придания им водонепроницаемости.

Керамические канализационные трубы изготавливают из пластичных тугоплавких глин внутренним диаметром 150-600 мм, длиной 1000-1500 мм. Водопоглощение керамического черепка не более 8%. Трубы должны выдерживать давление воды не менее 0,15 МПа.

Керамические дренажные трубы применяют в мелиоративном строительстве для устройства закрытого дренажа грунтовых вод. Внутренний диаметр 50-250 мм, длина 333 мм.

Теплоизоляционные керамические изделия по виду основного сырья подразделяются на : диатомитовые, перлитокерамические, легковесные огнеупоры с пористостью 50-70%, достигаемой пенообразованием, газообразованием, введением пористых заполнителей или выгорающих добавок.

Пористые заполнители для легких бетонов: керамзит и аглопорит.

Керамзитовый гравий – искусственный пористый материал ячеистого строения, получаемый путем вспучивания глинистых пород при обжиге. Керамзитовый гравий выпускают марок по насыпной плотности от 150 до 800. Применяется в качестве заполнителя в легком бетоне - керамзитобетоне и для устройства теплоизоляционных засыпок.

Аглопоритовый щебень- искусственный пористый заполнитель, получаемый спеканием на агломерационных машинах глинистого сырья, в котором содержатся выгорающие добавки (дробленый уголь, углесодержащие отходы, опилки). Аглопо-

ритовый щебень выпускают марок по плотности от 400 до 800. Применяется в качестве заполнителя в легком бетоне – аглопоритобетоне.

4. СТЕКЛО И ПЛАВЛЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Сырьевые материалы. Понятие о стеклообразном состоянии вещества. Основы производства стекла. Изделия из стекла. Листовое оконное стекло и стекло архитектурно-строительное (узорчатое, армированное, витринное, профильное). Строительные элементы из стекла. Литые изделия из шлаков и отходов разработки горных пород. Ситаллы и шлаки.

5. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Неорганическими вяжущими веществами называют порошкообразные материалы, образующие при смешивании с водой или растворами электролитов вязкопластичное тесто, способное в результате физико-химических процессов, проходящих в нем, со временем превращаться в камнеподобное тело.

Как правило, неорганические вяжущие вещества в чистом виде не применяются, а входят в качестве связующих в составы различных композиционных материалов: строительных растворов и бетонов, силикатных, асбестоцементных, древесноцементных и других композитов.

В зависимости от условий, при которых вяжущие вещества лучшим образом проявляют свои свойства, а приобретенная в результате затвердевания прочность длительно сохраняется, они подразделяются на *воздушные, гидравлические и автоклавные*.

Воздушными вяжущими называют такие, которые после смешивания с водой (или растворами электролитов) способны твердеть и сохранять приобретенную прочность только на воздухе, то есть при отсутствии контакта с водой или относительной влажности воздуха не более 60%.

Гидравлическими вяжущими называют такие, которые после смешивания с водой или растворами электролитов способны твердеть и сохранять приобретенную прочность не только на воздухе, но и в воде. Причем влажный и даже водный режимы твердения для них наиболее благоприятны, так как в этих условиях лучше и полнее реализуются их вяжущие свойства.

Автоклавные вяжущие представляют собой тонкоизмельченные смеси извести с кремнеземистым или глиноземистым компонентом, способные после смешивания с водой твердеть в среде насыщенного водяного пара при температуре выше 100°C (как правило, 170-200°C). Поскольку такие условия могут быть созданы только в герметичных сосудах – автоклавах-, эти вяжущие получили название автоклавных.

5.1. Воздушные вяжущие вещества

К воздушным вяжущим относятся:

- гипсовые вяжущие вещества, состоящие преимущественно из полуводного $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ или безводного сульфата кальция CaSO_4 ;
- магнезиальные вяжущие вещества, содержащие в качестве основного активного компонента оксид магния MgO ;

- воздушная строительная известь, состоящая в основном из оксида кальция CaO и магнезия MgO или их гидроксидов Ca(OH)₂ и Mg(OH)₂;
- растворимое стекло, состоящее в основном из силикатов натрия Na₂O·nSiO₂ (натриевое стекло) или силикатов калия K₂O·mSiO₂ (калиевое стекло).

Гипсовые вяжущие вещества

К гипсовым вяжущим веществам относятся: строительный и высокопрочный гипс, ангидритовый цемент и высокообжиговый гипс (эстрих-гипс).

Основным сырьем для получения гипсовых вяжущих веществ служит осадочная горная порода химического происхождения – гипсовый камень. *Строительный гипс* получают путем термической обработки природного гипсового камня при температуре 110-160°C в варочных котлах при атмосферном давлении. При этом происходит частичная дегидратация двуводного сульфата кальция с выделением воды, которая в парообразном состоянии уходит в воздух:



Образующийся в этих условиях полугидрат сульфата кальция называется б-полугидратом.

Производство строительного гипса включает следующие основные технологические операции: дробление природного гипсового камня, помол, сушку и обжиг. Эти операции встречаются в различных сочетаниях в зависимости от вида применяемого теплотехнического оборудования.

Наиболее распространенным аппаратом для термической обработки гипсового камня является гипсоварочный котел, представляющий собой обмурованный изнутри кирпичом вертикальный стальной цилиндр, внутри которого имеются горизонтально расположенные жаровые трубы и перемешивающее устройство (мешалка). Топочные газы по системе газопроводов в облицовке сначала обогревают днище котла, откуда направляются в кольцевой канал и жаровые трубы, а затем в дымовую трубу. Тонкоизмельченный гипсовый камень в процессе тепловой обработки постоянно перемешивается лопастями мешалки, что обеспечивает наиболее полную и равномерную дегидратацию всей обрабатываемой порции. Продолжительность процесса варки зависит от размера котла, температуры и степени влажности сырья и составляет от 1 до 3 ч. Полученный полуводный гипс выгружают из варочного котла и подают в бункеры выдерживания (камеры томления). Это улучшает качество и однородность полученного вяжущего. Из бункеров выдерживания гипс перегружают в силосы хранения готового продукта.

При обжиге во вращающихся печах сырье дробят до зерен крупностью 10-35 мм. Дробленый гипсовый камень, загружаемый в приподнятый конец барабана через загрузочную воронку, благодаря наклону барабана перемещается в направлении противоположного конца. Обжиг сырья производится топочными газами, которые подаются в барабан печи со стороны загрузки (прямоток) или выгрузки (противоток) сырья. Выходящий из печи горячий материал направляют в бункер томления, а затем подвергают тонкому помолу.

Высокопрочный гипс – это вяжущее, состоящее в основном α-модификации полугидрата, получают термической обработкой гипсового камня в герметических аппаратах подавлением пара или кипячением в растворах некоторых солей (MgCl₂,

CaCl₂ и др.) с последующей сушкой и измельчением в тонкий порошок. Тепловую обработку паром проводят в запарочных аппаратах, автоклавах и самозапарочных аппаратах.

Высокопрочный гипс может быть получен и варкой гипсового камня в водных растворах 20-25%-ной концентрации хлористого кальция, хлористого магния, сернокислого магния и др. солей. Варка гипса в этих условиях длится от 1,5 до 7 ч.

Высокопрочный гипс отличается от обычного строительного гипса большей мономинеральностью состава, более крупными кристаллами, меньшей водопотребностью и вследствие этого - повышенной прочностью после затвердевания.

Твердение строительного и высокопрочного гипса, затворенного водой, заключается в превращении гипсового теста в камневидное тело, обладающее прочностью. Затвердеванию предшествует схватывание теста, характеризующееся его загустеванием и потерей пластичности. Схватывание и твердение полуводного гипса является результатом его физико-химического взаимодействия с водой. Это взаимодействие согласно обобщенной теории твердения неорганических вяжущих, разработанной А.А.Байковым, проходит в четыре периода.

Первый период, начинающийся с момента смешивания (затворения) гипса с водой, характеризуется тем, полугидрат сульфата кальция растворяется в воде, образуя насыщенный раствор. Этот период называют периодом гидролиза.

Во втором периоде происходит химическое взаимодействие полугидрата с водой (гидратация) с образованием двуводного сульфата кальция:



Так как растворимость образующегося при этом двуводного сульфата кальция примерно в 3,5 раза меньше растворимости исходного полуводного сульфата кальция (соответственно, 2,05 и 7,7 г/л), образующиеся молекулы двуводного гипса оказываются в перенасыщенном по отношению к ним растворе полугидрата, что обуславливает их кристаллизацию в виде субмикрочастиц. По мере протекания реакции гидратации количество субмикрочастиц быстро возрастает, что приводит к образованию коллоидной системы.

С началом образования коллоидной системы связан *третий период* твердения гипса, характеризующийся схватыванием гипсового теста. Начиная с определенного момента, вследствие уменьшения количества свободной воды в связи с ее расходом на гидратацию, взаимодействие воды с полугидратом происходит топомеханически, то есть минуя растворение. В этот период наблюдается повышение температуры теста (экзотермический эффект), что обуславливает ускорение реакции гидратации. Это приводит к быстрому возникновению огромного количества микроскопических кристалликов двуводного гипса и уплотнению образовавшегося коллоида.

В целом, третий период характеризуется *схватыванием* гипсового теста.

В *четвертом периоде* твердения происходит срастание микрочастиц в крупные кристаллы (макрочастицы), которые, имея игольчатое строение, переплетаются и сцепляются в контактах, формируя жесткий кристаллический каркас, обеспечивающий прочность затвердевшему вяжущему.

Гидратация основной массы полугидрата и кристаллизация двуводного гипса завершаются через 40-60 мин после затворения гипса. К этому моменту достигается максимальная прочность гипса во влажном состоянии. Прочность затвердевшего гипса по мере высыхания возрастает в несколько раз, что объясняется выделением

двуводного гипса из испаряющейся воды и упрочнением им межкристаллических контактов. После полного высыхания твердение гипса заканчивается и прочность его более не нарастает.

Строительный и высокопрочный гипсы по своим свойствам во многом схожи. Главное различие состоит преимущественно в показателях прочности. Для полной гидратации полугидрата теоретически требуется 18,6% воды. При затворении же гипса из условия получения удобоукладываемых смесей приходится брать воды значительно больше: в случае использования строительного гипса от 50 до 70%, высокопрочного – 35-45%. Избыточная вода (сверх 18,6%), оставшаяся после завершения гидратации, в дальнейшем испаряется и на ее месте в затвердевшем материале образуются поры. Поскольку в высокопрочном гипсе таких пор образуется меньше, его прочность выше строительного гипса.

Качество строительного гипса характеризуется:

- тонкостью помола
- сроками схватывания гипсового теста стандартной густоты;
- прочностью при сжатии и изгибе.

Тонкость помола гипса оценивается по величине остатка на сите №02 после просеивания пробы массой 50 г. По этому показателю различают гипсовые вяжущие:

- грубого помола (I) - остаток на сите не более 23%;
- среднего помола (II) - остаток на сите не более 14%;
- тонкого помола (III) - остаток на сите не более 2%.

Сроки схватывания определяют на приборе Вика с иглой. Определение сроков схватывания выполняют на гипсовом тесте стандартной (нормальной) густоты.

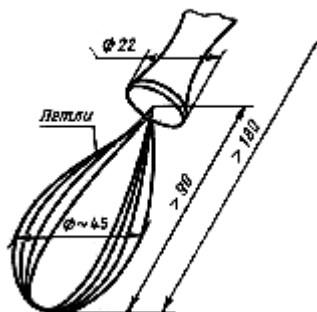


Рис. 5.1. Мешалка

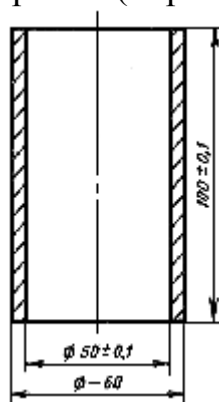


Рис. 5.2. Цилиндр вискозиметра Суттарда

За тесто стандартной густоты принимается такое тесто, которое при вытекании из вискозиметра Суттарда образует лепешку диаметром (180 ± 5) мм. За начало схватывания (НС) гипсового теста принимают время, прошедшее с момента затворения гипса водой до того момента, когда игла прибора Вика впервые не опустится до дна кольца; за конец схватывания (КС) принимают время с момента затворения гипса водой до того момента, когда игла прибора Вика проникает в тесто не более чем на 1 мм. Сроки схватывания выражают в минутах. По этому показателю гипсовые вяжущие подразделяются на три вида:

- А – быстротвердеющие: $НС \geq 2$ мин; $КС \leq 15$ мин;
- Б – нормальнотвердеющие: $НС \geq 6$ мин; $КС \leq 30$ мин;
- В – медленнотвердеющие: $НС \geq 25$ мин; КС- не нормируется.

Для регулирования сроков схватывания в гипс при затворении вводят различные добавки. С целью ускорения схватывания применяют натриевые и калиевые соли соляной и серной кислот, а также труднорастворимые добавки, выполняющие роль центров кристаллизации (двуводный гипс, кальциевые соли ортофосфорной кислоты и др.).

Замедление схватывания достигается добавлением в гипс веществ, которые реагируя с полугидратом, образуют на поверхности его частиц защитные пленки из труднорастворимых соединений (фосфат натрия, бура, борная кислота, лимонная кислота и др.), затрудняющие проникновение воды к негидратированной поверхности гипсовых частиц. Замедлить схватывание можно и с помощью поверхностно-активных веществ (например, пластифицирующих), которые, адсорбируясь на частицах полуводного и двуводного гипса, замедляют образование кристаллических зародышей. Замедляет схватывание столярный клей и известь.

Почность строительного гипса определяют испытанием образцов-балочек с размерами 40×40×160 мм, изготовленных из теста стандартной густоты, через 2 ч их твердения в воздушных условиях. Сначала эти балочки испытывают на изгиб (рис. 5.3), а затем полученные половинки- на сжатие (рис. 5.4).

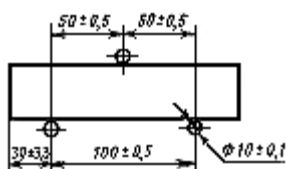


Рис. 5.3. Схема испытания на изгиб

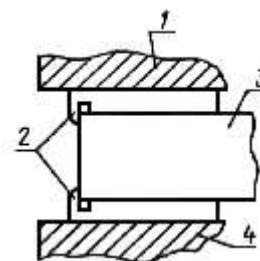


Рис. 5.4. Схема испытания на сжатие

За предел прочности при изгибе и сжатии принимают средние арифметические значения результатов испытаний всех образцов.

Действующий стандарт классифицирует гипсовые вяжущие по прочности на марки от Г-2 до Г-25 (табл. 5.1).

Минимальные требования по прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек, испытанных через 2 ч после смешивания гипса с водой, приведены в табл. 5.1.

Таблица - Требования по прочности к вяжущим разных марок

Вид испытания	Предел прочности, МПа. Для марок											
	Г-2	Г-3	Г-4	Г-5	Г-6	Г-7	Г-10	Г-13	Г-16	Г-19	Г-22	Г-25
Сжатие	2	3	4	5	6	7	10	13	16	19	22	25
Изгиб	1,2	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,5	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0

По результатам определения тонкости помола, сроков схватывания и прочности делается сокращенная запись информации о свойствах вяжущего. Например, Г-4-Б-II означает, что данное вяжущее представляет собой нормально твердеющий (Б) гипс среднего помола (II), имеющий прочность при сжатии через 2 ч после смешивания водой не менее 4 МПа.

Строительный гипс широко применяют для изготовления различных строительных изделий: плит перегородок, гипсокартонных и гипсоволокнистых листов, стеновых камней, архитектурно-декоративных изделий, вентиляционных коробов и др. Из него изготавливают ячеистые изделия (пено- и газогипс), используемые в качестве тепло- и звукоизоляционных материалов.

Высокопрочный гипс применяют для изготовления литейных форм в производстве санитарно-технической керамики (мойки, бачки и др.), моделей форм в машиностроении, в медицине.

Магнезиальные вяжущие вещества

К магнезиальным вяжущим относятся каустический магнезит и каустический доломит. В отличие от других минеральных вяжущих магнезиальные вяжущие затворяют только растворами хлорида или сульфата кальция. Иногда для этой цели используют хлористый цинк, сернокислое железо и др. соли.

Каустический магнезит получают обжигом при температуре 600-650 °С природного магнезита в шахтных или вращающихся печах до полного удаления CO₂:



После обжига продукт измельчают до остатка на сите № 008 не более 25 % и упаковывают в герметичные металлические барабаны во избежание гидратации и карбонизации на воздухе.

Для затворения каустического магнезита применяют растворы хлорида магния MgCl₂·6H₂O (33-38%) или сернокислого магния MgSO₄·7H₂O (16-20%). Каустический магнезит в зависимости от содержания MgO делят на четыре марки: ПМК-88, ПМК-87 и ПМК-75. Для строительных целей применяют магнезит марки ПМК-75.

Схватывание и твердение каустического магнезита обусловлено гидратацией MgO. При затворении оксида магния водой вследствие его крайне малой растворимости гидратация проходит очень медленно, а прочность образовавшегося камня невелика. При затворении же растворами солей скорость взаимодействия оксида магния с водой резко возрастает вследствие повышенной его растворимости в этих растворах. При этом образуется не только гидроксид магния Mg(OH)₂, но и гидроксихлориды магния типа MgO·nMgCl₂·mH₂O или гидроксисульфаты магния типа MgO·nMgSO₄·mH₂O, которые вследствие кристаллизации в виде волокон и игл придают камню повышенную прочность на растяжение.

Каустический магнезит является быстротвердеющим вяжущим: начало схватывания магнезита марки ПМК-75 должно наступать не ранее 20 мин, а конец схватывания – не позднее 6 ч. Марки по прочности при сжатии образцов из трамбованных растворов состава 1:3 (магнезит: песок) – 400, 500 и 600 (в 28-суточном возрасте твердения в воздушных условиях).

Каустический доломит получают обжигом природного доломита при температуре 750-850 °С, обеспечивающей диссоциацию только магнезиальной части доломита:



Каустический доломит затворяют растворами тех же солей, что каустический магнезит. Это вяжущее является медленнотвердеющим: начало схватывания наступает через 5-10 ч, а конец – 8-20 ч. Прочность каустического доломита в 2-3 раза меньше, чем каустического магнезита, что обусловлено меньшим содержанием в нем активного оксида магния.

Магнезиальные вяжущие вещества применяют для устройства бесшовных полов, плит и плиток, ступеней, различных теплоизоляционных материалов с использованием в качестве заполнителей древесной стружки и опилок (ксилолит) и волокон (фибролит), а также пено- и газомagneзита.

Строительная воздушная известь

Строительная воздушная известь – продукт обжига *не до спекания* известняков или известняково-магнезиальных (доломитов) пород, содержащих *не более 6%* глинистых примесей.

Для производства воздушной извести применяют плотные кристаллические и мраморовидные известняки, мел, известняк-ракушечник, известковый туф, доломитизированный известняк (содержащий от 5 до 20% MgCO_3) и доломит (содержащий от 25 до 45% MgCO_3).

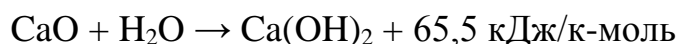
Получение воздушной извести основано на реакции дакарбонизации карбонатов кальция и магния при обжиге при температуре 900-1100°C:



Полученный после обжига продукт называют *комовой известью*. Так как при обжиге из сырья удаляется углекислый газ, составляющий более 40% массы исходной горной породы, а объем обжигаемых кусков уменьшается всего на 10%, комовая известь имеет тонкопористую структуру с очень развитой внутренней поверхностью. Комовую известь измельчают (диспергируют) перед применением двумя способами .

Первый способ заключается в том, что комовую известь подвергают помолу в мельницах до такой степени, чтобы остатки на ситах №02 и №008 составляли не более 1,5 и 15% соответственно.

Второй способ заключается в том, что комовую известь затворяют (гасят) водой. При этом происходит гидратация оксида кальция с выделением большого количества тепла и самопроизвольное превращение извести в тонкий порошок:



При гашении извести с высоким содержанием активного CaO выделяющееся тепло может нагреть смесь извести с водой до 100 °C и тогда вода закипит. Такую известь называют *известью-кипелкой*. Теоретически для гидратации CaO требуется 32% воды от его массы. Для гашения воды берут значительно больше, так как в связи с нагреванием часть ее испаряется. Продукт гашения, представляющий собой практически сухой порошок, называется *гидратной известью* или *известью-пушонкой*. Обычно для получения гидратной извести комовую известь заливают водой в количестве 60-80% ее массы. При гашении извести водой в количестве 2-3 л на 1 кг получают *известковое тесто*, содержащее обычно около 50% (по массе) воды. Если для гашения извести воды берут еще больше, получают продукт, называемый *известковым молоком*.

Гашение происходит с разной скоростью, которая зависит от содержания в ней активного CaO и температуры обжига. По времени гашения известь подразделяют на *быстрогасящуюся* при времени гашения не более 8 мин, *среднегасящуюся* при времени гашения до 25 мин и *медленногасящуюся* при времени гашения более 25 мин.

Качество воздушной извести зависит от состава и вида исходного сырья, качества обжига (температура, полнота диссоциации карбонатов) степени помола.

Основными показателями качества извести являются активность, содержание MgO и CO_2 , а также не погасившихся зерен (в комовой извести).

Активность извести характеризуется суммарным процентным содержанием в ней активных, то есть быстро реагирующих с водой, CaO и MgO.

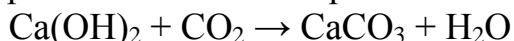
По этому показателю негашеная известь подразделяется на 3 сорта: 1-й сорт при суммарном содержании активных CaO и MgO не менее 70%, 2-й сорт – 80% и 3-й сорт – 70%.

Содержание в извести CO₂ в составе карбонатов свидетельствует о неполной диссоциации карбонатов при обжиге сырья.

Не погасившиеся зерна в гашеной комовой извести представлены *недожогом* (неразложившимися частицами известняка, магнезита или доломита), *пережогом* («намертво» обожженными оксидами кальция и магния, значительно утратившими из-за этого активность) и инертными примесями (зерна кварц, полевого шпата и др. минералов), не обладающими способностью к гидратации. Если недожог и инертные примеси только снижают активность извести и не являются опасными, то этого нельзя сказать о пережоге, представленном частицами, не успевшими, в силу слабой активности, превратиться в гидроксиды кальция и магния. Попадая в строительные растворы в негидратированном виде, эти частицы, медленно гасясь и увеличиваясь в объеме, вызывают в кладке или штукатурке дефекты, называемые «дутиками». Для устранения вредного влияния пережога комовую известь перед гашением подвергают помолу, пушонку, полученную из комовой извести, процеживают через тонкое сито, а отделенные частицы подвергают повторному гашению.

Твердение извести может происходить только в воздушно-сухих условиях. При испарении воды мельчайшие кристаллы гидроксида кальция срастаются друг с другом, образуя жесткий каркас, скрепляющий зерна песка в строительном растворе. Достигаемая при этом прочность невелика и составляет 0,5-1,0 МПа через месяц твердения.

При длительном твердении (в течение многих десятков и даже сотен лет) прочность извести нарастает за счет карбонизации углекислотой воздуха:



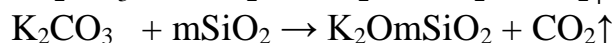
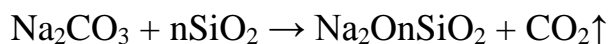
Образующийся при этом карбонат кальция обладает высокой прочностью и водостойкостью. Однако, образование пленки на поверхности строительного раствора обуславливает замедление карбонизации, которая и без того протекает медленно в связи с малой концентрацией углекислого газа в воздухе. В результате карбонизации в течение длительного времени прочность известково-песчаного раствора увеличивается в 10 и более раз.

Воздушную известь применяют для приготовления кладочных и штукатурных растворов, в производстве автоклавных силикатных материалов различного назначения, для приготовления известково-шлаковых вяжущих и известковых красок.

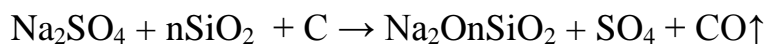
Растворимое стекло

Сырьем для получения растворимого стекла являются кварцевый песок, а также сода Na₂CO₃, поташ K₂CO₃ и сульфат натрия Na₂SO₄. При применении натриевых солей получают *натриевое растворимое стекло*, калиевых – *калиевое*.

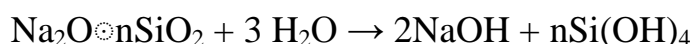
Кварцевый песок и соль после тщательного смешивания загружают в стекловаренную печь, где между ними при температуре 1300-1400 °С происходит взаимодействие с выделением газообразных оксидов:



При сплавлении с сульфатом натрия вводят катализатор – угольный порошок:



Полученную стекломассу выливают из печи, при этом она быстро охлаждается и распадается на отдельные куски, называемые *силикат-глыбой*. Из растворимого стекла получают *жидкое стекло* путем варки дробленой силикат-глыбы в автоклаве при давлении пара 0,6-0,8 МПа в течение 3-5 ч. При варке силикат-глыбы происходит гидролиз силикатов натрия или калия, в результате чего из них выделяется гель кремнекислоты:



Именно $\text{Si}(\text{OH})_4$ и обладает вяжущими свойствами при испарении воды. Гидролиз стекла ускоряется под действием углекислого газа воздуха, а также в присутствии кремнефтористого натрия.

Натриевое жидкое стекло применяют для приготовления кислотоупорных и жаростойких бетонов, для уплотнения грунтов (силикатизация). Калиевое стекло применяют главным образом для приготовления силикатных красок.

4.2. Гидравлические вяжущие вещества

Гидравлическими вяжущими называют такие материалы, которые после смешивания с водой или растворами электролитов способны твердеть и сохранять приобретенную прочность не только на воздухе, но и в воде. Причем влажный режим твердения для них более благоприятен, так как в этих условиях лучше и полнее реализуются их вяжущие свойства.

К гидравлическим вяжущим веществам относятся:

- гидравлическая известь;
- портландцемент и его разновидности;
- глиноземистый цемент;

Гидравлическая известь

Гидравлической известью называют продукт, получаемый обжигом *не до спекания* (при температуре 900-1100 °С мергелистых известняков, содержащих 6-25 % глинистых примесей. При обжиге сырья происходит диссоциация CaCO_3 на CaO и CO_2 , а глинистые минералы дегидратируются и разлагаются на оксиду алюминия, кремния и железа. Между этими оксидами происходят реакции ф твердой фазе, в результате чего образуются искусственные соединения, обладающие вяжущими свойствами: $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, CaOAl_2O_3 , $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Поскольку при этом образуются низкоосновные соединения, в продукте обжига остается некоторое количество свободного CaO .

Гидравлическую известь выпускают в виде тонкоизмельченного порошка, при просеивании которого остаток на сите № 008 не должен превышать 15 %.

При твердении гидравлической извести протекают процессы, характерные как для воздушного, так и гидравлического твердения. Воздушное твердение обуслов-

лено гидратацией и кристаллизацией оксида кальция, а гидравлическое – силикатов, алюминатов и ферритов кальция. В связи с этим при твердении гидравлической извести необходимо на начальной стадии (примерно в течение 7 сут) обеспечить воздушно-сухие условия твердения, а затем- влажные. В зависимости от отношения m процентного содержания оксида кальция и всех остальных оксидов известь подразделяют на слабогидравлическую ($m = 4,5-9,0$) и сильногидравлическую ($m = 1,7-4,5$). Предел прочности при сжатии цементно-известковых образцов через 28 сут твердения (7 сут на воздухе + 21 сут в воде) для слабогидравлической извести должен быть не менее 1,7 МПа, для сильногидравлической – 5,0 МПа.

Гидравлическую известь применяют для приготовления строительных растворов, предназначенных для кладочных и штукатурных работ в сухой влажной средах.

Портландцемент и его разновидности

Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера с гипсовым камнем и, при необходимости, со специальными добавками.

Портландцементный клинкер представляет собой зернистый или кусковой материал, полученный обжигом до спекания однородной сырьевой смеси, состоящей из известняка и глины или некоторых других материалов (мергели, доменные шлаки и т.п.). Независимо от вида исходного сырья вещественный состав сырьевой смеси должен быть таким, чтобы в ней содержалось 63-67% CaO ; 21-24% SiO_2 ; 4-7% Al_2O_3 ; 2,5-4% Fe_2O_3 . Кроме этих оксидов в сырье обычно в небольших количествах (долях процента) содержатся оксиды магния, серы, натрия и других металлов.

Сырьевыми материалами для производства клинкера служат карбонатные горные породы с высоким содержанием углекислого кальция (известняки, мел, мергели) и глинистые породы (глины, глинистые сланцы), содержащие оксиды кремния, алюминия и железа. Обычно указанный выше химический состав сырьевой смеси обеспечивается при соотношении между карбонатной и глинистой составляющей в ней 3:1. Наряду с природным сырьем для получения клинкера используют различные техногенные отходы: металлургические и топливные шлаки, нефелиновый шлак (отход производства глинозема), золы тепловых электростанций и др.

Независимо от вида исходного сырья и способа получения клинкера всегда стремятся получить по возможности более тонкую и однородную сырьевую смесь.

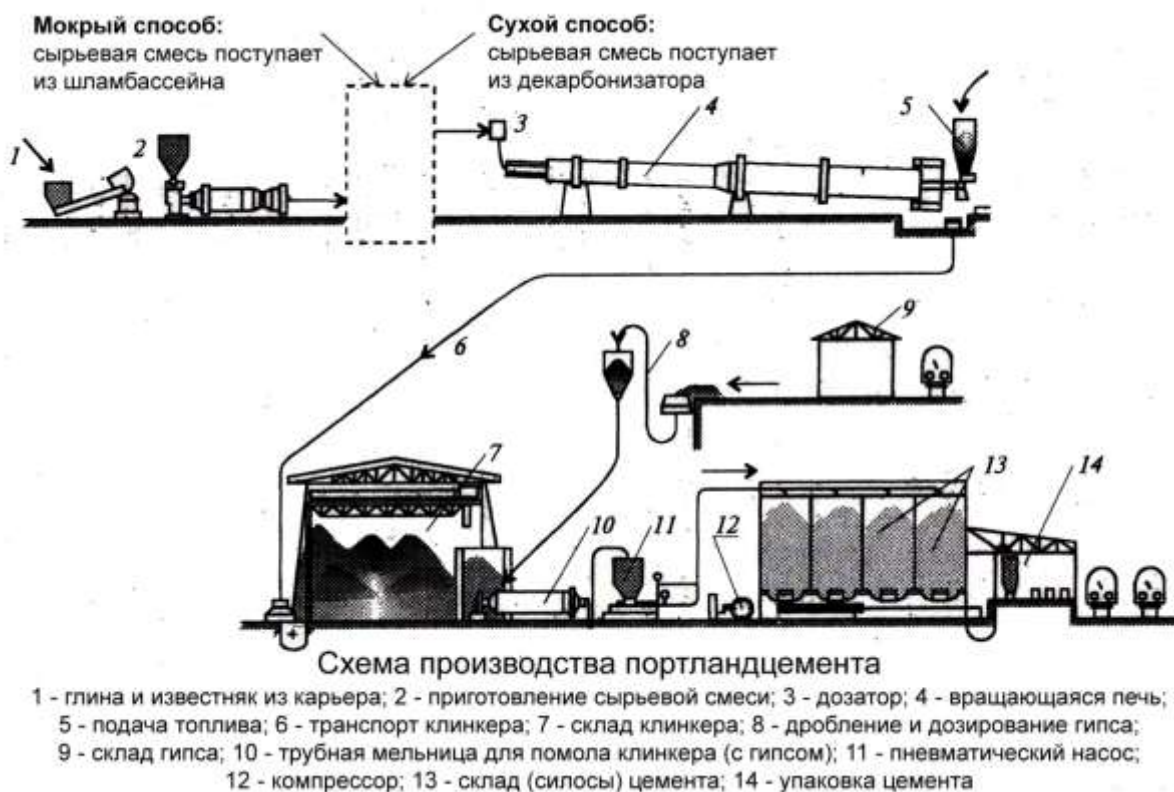
Обжиг сырьевой смеси осуществляется во вращающихся печах. Современные печи рассчитаны на суточную производительность от 850 до 3000 т клинкера

Вращающаяся печь представляет собой стальной барабан диаметром от 4 до 7 м и длиной от 150 до 230 м. Для защиты от воздействия горячих газов и уменьшения потерь тепла корпус печи внутри футерован огнеупорным материалом. Корпус вращающейся печи устанавливается на роликовых опорах с уклоном по длине 3-4° и вращается со скоростью 0,5-1,2 об/мин.

Приподнятый конец печи является холодным; через него сырьевая смесь загружается в печь с помощью питателя непрерывного действия. С противоположной стороны в печь вентилятором нагнетается топливно-воздушная смесь, сгорающая на протяжении 20-30 м длины печи. В качестве топлива применяются молотый уголь, мазут или природный газ. Образующиеся дымовые газы проходят через всю печь, отдавая свое тепло обжигаемому материалу.

Сырьевая смесь, проходя через печь и подвергаясь действию все более горячих газов, претерпевает ряд физических и физико-химических превращений. В связи с этим печь по длине условно разделяется на шесть температурных зон.

1-я зона – зона испарения. В ней при постепенном повышении температуры до 200°C сырьевая смесь подсушивается.



2-я зона – зона подогрева. В этой зоне при постепенном нагревании до 700 °C выгорают находящиеся в сырье органические примеси, происходит дегидратация глинистых минералов.

3-я зона – зона декарбонизации. Температура обжигаемого материала в этой зоне повышается с 700 до 1100 °C; происходит диссоциация карбонатов кальция с образованием большого количества свободного CaO. В этой же зоне происходит распад дегидратированных глинистых минералов на оксиды кремния, алюминия и железа, которые, взаимодействуя с CaO, образуют $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и небольшое количество $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$.

4-я зона – зона экзотермических реакций. В прогретом до температуры 1100-1250 °C материале проходят реакции в твердом состоянии с образованием в основном $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ и $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Эти реакции проходят с большим выделением тепла, что и обусловило название этой зоны.

5-я зона - зона спекания. В этой зоне материал прогревается с 1250 до 1450 °C. В этом температурном интервале образуется расплав в количестве 20-30% объема массы из относительно легкоплавких алюмината ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) и алюмоферрита ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) кальция. При температуре около 1450 °C в расплаве растворяются $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и CaO, а из них образуется трехкальциевый силикат ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) с почти полным связыванием оксида кальция.

6-я зона – зона охлаждения. Поступающий в эту зону клинкер быстро охлаждается до температуры около 1000°C, в результате чего жидкая фаза застывает ча-

стично в виде стекла и полностью завершается формирование структуры и состава портландцементного клинкера.

Примерный минералогический состав клинкера приведен в таблице.

Таблица - Минералогический состав портландцементного клинкера

Название минерала	Формула	Сокращенное обозначение	Примерное содержание в клинкере, %
Трехкальциевый силикат	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	40-65
Двухкальциевый силикат	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	15-40
Трехкальциевый алюминат	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	5-15
Четырехкальциевый алюмоферрит	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	10-20

Из печи клинкер в виде гранул поступает в холодильник, где интенсивно охлаждается воздухом до температуры 100-200°C. После этого клинкер для окончательного остывания и вылеживания (магазинирования) выдерживают на складе до двух недель. Это необходимо для того, чтобы содержащийся в нем свободный оксид кальция погасился влагой из воздуха.

Клинкер является полупродуктом; для получения портландцемента его нужно размолоть в тонкий порошок совместно с гипсовым камнем ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и, при необходимости, с другими добавками (активными минеральными, поверхностно-активными и др.).

Массовая доля в цементах активных минеральных добавок должна соответствовать значениям, указанным в табл.

Таблица - Допустимые содержания активных минеральных добавок

Обозначение вида цемента	Активные минеральные добавки, % по массе			
	всего	в том числе		
		Доменные гранулированные и электротермофосфорные шлаки	осадочного происхождения, кроме глиежа	прочие активные, включая глиеж
ПЦ-Д0	Не допускаются			
ПЦ-Д5	До 5	До 5	До 5	До 5
ПЦ-Д20, ПЦ-Д20-Б	Св. 5 до 20	До 20	До 10	До 20
ШПЦ, ШПЦ-Б	Св. 20 до 80	Св. 20 до 80		До 10

При помоле за счет трения мелющих тел измельчаемый материал прогревается до температуры 150-200 °С, что приводит к дегидратации двуводного сульфата кальция, в результате чего у цемента появляется нежелательное «ложное схватывание», затрудняющее его применение. Для понижения температуры в последнюю камеру мельницы впрыскивают воду в количестве 1-2% массы цемента, что позволяет снизить температуру до 80-120 °С. Обычный портландцемент измельчают до удельной поверхности 2500-3500 см²/г, а быстротвердеющий – до 4000-5000 см²/г.

Готовый портландцемент направляется пневмотранспортом в силосы для хранения и вылеживания. Силосы обычно выполняют в виде железобетонных вертикальных цилиндрических банок диаметром от 8 до 18 м и высотой от 25 до 40

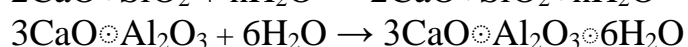
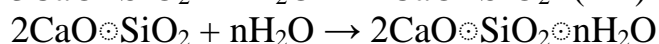
м. В каждую из них вмещается от 2500 до 10000 т цемента. Цемент в силосах выдерживают до полного остывания, гашения свободного оксида кальция и регидратации полуводного гипса, образовавшегося при помоле, до двуводного под действием влаги воздуха, подаваемого в силос под давлением через перфорированное днище.

Твердение портландцемента

Согласно теории твердения неорганических вяжущих веществ, разработанной академиком А.А. Байковым, твердение портландцемента проходит в четыре стадии.

На первой стадии происходит растворение (гидролиз) клинкерных минералов в воде с образованием насыщенного раствора.

На второй стадии клинкерные минералы вступают в реакцию с водой (*стадия гидратации*), в результате чего образуются гидратированные соединения:

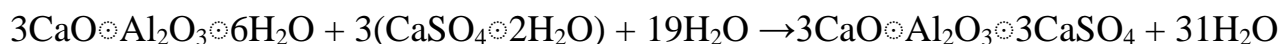


Третья стадия (стадия коллоидации) характеризуется тем, что вследствие меньшей растворимости гидратированных соединений по сравнению с исходными минералами, они кристаллизуются в виде коллоидных частиц (субмикрочастиц) размером менее 1 мкм. По мере гидратации количество коллоидных частиц накапливается, происходит их сближение, в результате чего цементное тесто загустевает. Эта стадия характеризуется схватыванием цементного теста.

На четвертой стадии в результате продолжающегося накопления коллоидных частиц при одновременном уменьшении объема свободной (не израсходованной на гидратацию) воды происходит уплотнение коллоида (образование твердого геля) и кристаллизация. На этой стадии происходит превращение цементного теста в камневидное тело (твердение).

Гидратация клинкерных минералов сопровождается выделением тепла. Известно, что при гидратации 1 кг трехкальцевого силиката выделяется около 500 кДж, двухкальцевого силиката – 260 кДж, трехкальцевого алюмината – 880 кДж, четырехкальцевого алюмоферрита – 420 кДж.

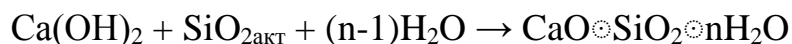
Молотый клинкер в связи с быстрой гидратацией трехкальцевого алюмината без добавки гипсового камня схватывается (загустевает) уже через 3-5 мин после затворения его водой, что в принципе делает такой цемент не пригодным для практического применения. Было установлено, что при добавлении в клинкер небольшого количества природного гипса (3-5% в пересчете на SO_3), схватывание цемента сильно замедляется. Происходит это потому, что при затворении водой двуводный сульфат кальция сразу же вступает во взаимодействие с образующимся гидроалюминатом кальция, в результате чего образуется гидросульфоалюминат кальция (эттрингит):



Выделяясь в тонкодисперсном коллоидном состоянии на поверхности частиц цемента, эттрингит затрудняет доступ воды к молекулам $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, замедляя их гидратацию, и таким образом удлиняет схватывание цемента.

Клинкерные минералы неравноценны как по скорости твердения, так и по достигаемой ими прочности. Трехкальциевый силикат твердеет быстро и после затвердевания обладает большей прочностью в сравнении с другими минералами. Двухкальциевый силикат в течение первого месяца набирает прочность очень медленно, но затем скорость его твердения резко возрастает. Трехкальциевый алюминат и четырехкальциевый алюмоферрит твердеют очень быстро, но достигаемая ими прочность значительно меньше, чем у минералов-силикатов.

Активные минеральные добавки, вводимые в состав цемента при помоле, способствуют увеличению водостойкости цементного камня за счет связывания растворимого гидроксидка кальция, выделяющегося при гидратации трехкальциевого силиката, в трудно растворимый гидросиликат:



Массовая доля в цементах активных минеральных добавок должна соответствовать значениям, указанным в табл.

Свойства портландцемента

Минеральный состав цемента характеризуется процентным содержанием минералов в клинкере. Он обычно указывается в паспорте на каждую партию, отгружаемую цементным заводом.

Вещественный состав указывает на содержание в цементе (в %) клинкера, гипсового камня (по SO_3), вид и количество активной минеральной добавки, поверхностно-активных добавок в пластифицированном и гидрофобном цементах.

Тонкость помола цемента влияет на скорость растворения и гидратации клинкерных минералов. Степень помола оценивают двумя способами. Первый способ заключается в просеивании навески цемента массой 50 г через сито №008, через которое должен проходить не менее 85%. Второй способ основан на определении удельной поверхности зерен цемента, определяемой с помощью прибора ПСХ-2 или Т-3 (прибор Товарова). Обычные цементы имеют удельную поверхность 2500-3500 $\text{см}^2/\text{г}$, а быстротвердеющие – 4000-6000 $\text{см}^2/\text{г}$.

Истинную плотность цемента определяют с помощью колбы-объемомера Лешателье-Кандло. В зависимости от вещественного состава истинная плотность портландцемента находится в пределах от 2,8 до 3,2 $\text{г}/\text{см}^3$.

Насыпная плотность цемента определяется в его рыхлонасыпном состоянии при заполнении стандартного цилиндрического сосуда объемом 1000 см^3 с высоты 50 мм без каких-либо механических воздействий. Насыпная плотность цемента зависит главным образом от его вещественного состава: с увеличением содержания активных минеральных добавок она уменьшается. Насыпная плотность цемента находится в пределах от 900 $\text{кг}/\text{м}^3$ (пуццолановых цементов) до 1200 $\text{кг}/\text{м}^3$ (у бездобавочных цементов).

Водопотребность цемента (нормальная густота цементного теста) оценивается процентным отношением количества воды к массе цемента, необходимым для получения цементного теста нормальной (стандартной) густоты. Нормальная густота цементного теста (НГЦТ) зависит от тонкости помола и его вещественного состава. С увеличением степени измельчения водопотребность цемента увеличивается. Активные минеральные добавки обладают большей водопотребностью, чем

клинкер. Поэтому с увеличением их содержания водопотребность цемента также возрастает.

Нормальная густота бездобавочного цемента составляет 22-26%, а цементов, содержащих минеральные добавки, – 32-37%. Нормальную густоту цемента определяют с помощью прибора Вика с пестиком. Нормальную густоту цемента определяют для того, чтобы в последующем определить сроки схватывания и испытать на равномерность изменения объема при твердении.

Сроки схватывания цемента определяют испытывая тесто нормальной густоты с помощью прибора Вика с иглой. За начало схватывания принимают время с момента затворения цемента водой до того момента, когда игла прибора Вика не доходит до дна кольца, заполненного тестом на 2-4 мм; конец схватывания фиксируют, когда игла проникает в тесто всего на 1-2 мм. Начало схватывания должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания – не позднее 10 ч с момента затворения цемента водой.

Иногда цемент обладает *ложным схватыванием*, то есть тесто быстро загустевает (даже во время его приготовления). Однако, если его энергично перемешать, оно становится пластичным. Причиной ложного схватывания является присутствие в цементе полуводного гипса, образовавшегося при дегидратации природного гипсового камня, вводимого при помоле для замедления схватывания. Это обычно происходит, когда цемент после помола недостаточно выдержан в аэрируемых силосах перед отгрузкой потребителю.

Равномерность изменения объема при твердении обеспечивается в том случае если в цементе содержится не более 5% свободного MgO. Испытание на равномерность изменения объема при твердении проводят, подвергая кипячению в воде лепешек, изготовленных из теста стандартной консистенции и твердевших в течение 24 ч при относительной влажности воздуха не менее 95% и температуре плюс $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$ в ванне с гидравлическим затвором. Испытание признается успешным, если после кипячения на поверхности не появятся радиальные трещины или признаки шелушения. Цемент, не выдержавший испытание на равномерность изменения объема, не допускается к использованию.

Активность и марка цемента характеризуются прочностью стандартных образцов в 28-суточном возрасте. Для этого изготавливают образцы-балочки размерами 40×40×160 мм из цементно-песчаного раствора состава по массе Ц:П=1:3. Для приготовления используют стандартный однофракционный кварцевый песок (Вольский песок). Количество воды затворения растворной смеси принимают из условия, что диаметр стандартного конуса после 30 встряхиваний на встряхивающем столике будет составлять 106-115 мм. Изготовленные образцы в течение 24 ч выдерживают в формах в ванне с гидравлическим затвором, а после распалубки – 27 сут в воде с температурой плюс $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$.

Каждую балочку сначала испытывают на прочность при изгибе. За значение прочности при изгибе принимается среднеарифметическое значение двух наибольших результатов. Образовавшиеся половинки балочек испытывают на прочность при сжатии с использованием стальных пластинок (см. испытание гипса). За результат принимают среднее арифметическое значение, полученное из четырех максимальных результатов. Для определения марки испытанного цемента полученные результаты сравнивают с данными табл.

Таблица 5.4 – Марки портландцемента

Марка цемента	Предел прочности, кгс/см ² (МПа) в возрасте 28 суток	
	при сжатии, не менее	при изгибе, не менее
300	300 (30)	45 (4,5)
400	400 (40)	55 (5,5)
500	500 (50)	60 (6,0)
550	550 (55)	62 (6,2)
600	600 (60)	65 (6,5)

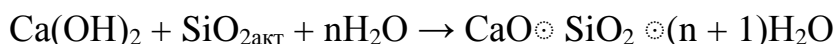
Коррозия цементного камня в пресных и минерализованных водах

Согласно классификации, предложенной проф. В.М Москвиным, коррозия цементного камня в пресных и минерализованных водах подразделяется на три вида.

Коррозия 1-го вида характеризуется тем, что при фильтрации через цементный камень пресной воды происходит растворение и вымывание $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Этот процесс называется *выщелачиванием* цементного камня.

На начальной стадии при насыщении цементного камня фильтрующей водой происходит растворение свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образовавшегося при гидратации силикатов кальция. По мере вымывания свободного гидроксида кальция концентрация его в поровой воде снижается, вследствие чего начинается и продолжается гидролиз гидратообразований с выделением гидроксида кальция. В конечном итоге после полного вымывания выделившегося из гидратированных минералов гидроксида кальция на месте цементного камня остаются желатинообразные гидроксиды кремния, алюминия и железа, не обладающие прочностью.

Повышение стойкости цементного камня к коррозии 1-го вида достигается за счет увеличения его плотности и введение в состав цемента активных минеральных добавок. Увеличение плотности (уменьшение капиллярной пористости) цементного камня достигается за счет уменьшения водоцементного отношения, например, с помощью пластифицирующих добавок. Активные минеральные добавки, содержащие активный кремнезем, повышают коррозионную стойкость цементного камня за счет связывания свободного гидроксида кальция, образующегося при гидратации цемента, в труднорастворимые гидросиликаты кальция:

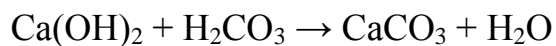


Увеличить долговечность можно также конструктивными мерами: облицовкой бетонных конструкций более водонепроницаемыми материалами, нанесением на их поверхность водонепроницаемых пропиток и покрытий.

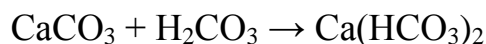
Коррозия 2-го вида проявляется в образовании легкорастворимых и гелеобразных размываемых водой веществ при взаимодействии гидроксида кальция с растворами отдельных солей и минеральных кислот. Как и при коррозии 1-го вида основным «участником» и в данном случае является $\text{Ca}(\text{OH})_2$ цементного камня.

К этому виду коррозии относятся:

Углекислая коррозия. При попадании в цементный камень, углекислота сначала карбонизирует $\text{Ca}(\text{OH})_2$, переводя его в труднорастворимый карбонат кальция:

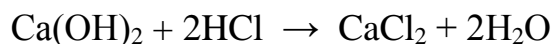


А затем карбонат кальция, также подвергаясь карбонизации, переходит в легко растворимый бикарбонат кальция:



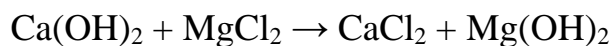
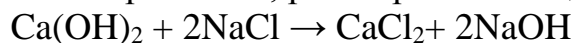
Образовавшийся $\text{Ca(HCO}_3)_2$ легко вымывается фильтрующей водой, вынося, по сути дела, гидроксид кальция из цементного камня. Углекислотная коррозия, так же как и коррозия 1-го вида, завершается полным разложением гидратированных минералов цементного камня до образования гелеобразных продуктов.

Коррозия 2-го вида происходит и при действии *соляной кислоты*:



В этом случае образуется легко растворимый хлорид кальция, который выносятся из цементного камня фильтрующей водой. Далее процессы идут по той же схеме, что и в предыдущих случаях.

Некоторые соли, растворимые в воде, также вызывают коррозию 2-го вида:

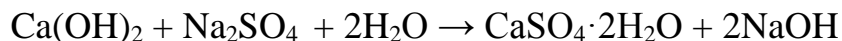


По первой реакции образуются два легко растворимых вещества, вымываемые водой. При взаимодействии гидроксида кальция с хлоридом магния образуются легко растворимый хлорид кальция и практически не растворимый гидроксид магния, который, как правило, не вымывается из цементного камня, а накапливается в его порах в виде гелеобразной массы белого цвета. По этому признаку коррозию цементного камня магниевыми солями называют «белой смертью» цемента.

Для повышения стойкости цементного камня к коррозии 2-го вида используются те же приемы, что и при коррозии 1-го вида.

Коррозия 3-го вида характеризуется разрушением цементного камня вследствие накопления в нем малорастворимых солей, кристаллизующихся с увеличением объема. Этот вид коррозии называют еще *сульфатной коррозией*, так как она вызывается солями серной кислоты или серной кислотой, растворенными в фильтрующей через цементный камень воде.

Химические процессы в данном случае проходят в две стадии. Сначала сульфаты взаимодействуют с гидроксидом кальция с образованием гипса и легко растворимого гидроксида натрия:



Гидроксид натрия вымывается из цементного камня, а гипс взаимодействует с гидроалюминатом кальция цементного камня:



Образуется трудно растворимый гидросульфатаминат кальция, называемый *эттрингитом*. Объем образовавшегося эттрингита более чем в 2 раза превышает суммарный объем веществ, из которых он образовался. Накапливаясь с увеличением объема в порах цементного камня эттрингит вызывает его разрушение. В связи с этим эттрингит называют еще «цементной бациллой».

Так как основными составляющими цементного камня, из которых образуется эттрингит, являются $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, повышение сульфатостойкости, помимо общих мероприятий по повышению коррозионной стойкости, цементного камня, достигается уменьшением содержания C_3S и C_3A в клинкере и наличием в цементе активной минеральной добавки, связывающей гидроксид кальция в гидросиликаты.

Этим требования отвечает выпускаемый промышленностью *сульфатостойкий портландцемент*, в клинкере которого содержание C_3S не превышает 50%, а C_3A – 5%. Активная минеральная добавка в таком цементе содержится до 20%.

Разновидности портландцемента

В строительстве и производстве сборных бетонных и железобетонных конструкций и изделий используются различные портландцементы. Многообразие цемента обусловлено разнообразием условий производства строительных работ и эксплуатации сооружений.

Общестроительный портландцемент представляет собой однородную смесь тонкоизмельченных портландцементного клинкера ненормированного минералогического состава, гипсового камня и активной минеральной добавки. В качестве добавок применяют природные осадочного (диатомиты, трепелы, опоки и др.) и вулканического (вулканический туф, пемза) происхождения или отходы металлургической промышленности (шлаки, шламы и др.). Марки портландцемента по прочности 300, 400, 500, 550 и 600. По вещественному составу портландцемент бывает без минеральных добавок и с минеральными добавками в количестве не более 5 и 20%. Пример маркировки портландцемента ПЦ 500-Д20: портландцемент марки по прочности 500, содержащий не более 20% активной минеральной добавки.

Общестроительные портландцементы применяют для приготовления бетонных смесей, предназначенных для изготовления бетонных и железобетонных изделий и несущих конструкций, эксплуатируемых в отсутствии сильных агрессивных воздействий.

Портландцемент с нормированным составом клинкера отличается от общестроительного тем, что содержанием в нем трехкальциевого алюмината не должно превышать 8%. Такой цемент применяется для бетона дорожных и аэродромных покрытий, железобетонных напорных и безнапорных труб, железобетонных шпал, мостовых конструкций, стоек опор высоковольтных линий электропередач, контактной сети железнодорожного транспорта и освещения. Он может быть бездобавочным (Д0) и с активными минеральными добавками (Д5 или Д20). Марки цемента по прочности 400 и 500.

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) отличается от общестроительного ускоренным набором прочности: через 3 сут твердения он должен иметь прочность: не менее 25 МПа и 28 МПа для марок 400 и 500 соответственно. Быстрый набор прочности достигается за счет повышенного содержания $\text{C}_3\text{S} + \text{C}_3\text{A}$ (60-65%) и тонкости помола ($S_{\text{уд}} = 4000-5000 \text{ см}^2/\text{г}$).

Применяют БТЦ, когда нужно иметь быстрое нарастание прочности в раннем возрасте (при аварийных работах, бетонировании в условия пониженных и отрицательных температур). Пример маркировки: ПЦ 500 -Д20-Б.

Шлакопортландцемент получают совместным помолом портландцементного клинкера с гипсовым камнем и доменным гранулированным шлаком в количестве св. 21 до 80%. Шлакопортландцемент в естественных условиях твердеет медленнее, чем портландцемент, однако при температуре выше 90°C и во влажной среде он твердеет быстрее. Бетоны на шлакопортландцементе отличаются пониженной морозостойкостью и атмосферостойкостью. Поэтому из них изготавливают, главным образом, конструкции надземных частей зданий и сооружений. Шлакопортландцемент выпускается марок 300, 400 и 500. Пример маркировки: ШПЦ 400. Быстротвердеющий ШПЦ 400-Б через 3 сут твердения должен иметь прочность не менее 20 МПа.

Сульфатостойкий портландцемент получают на основе клинкера, содержащего не более 50% C_3S и не более 5% C_3A ; при этом суммарное содержание $C_3A + C_4AF$ не должно превышать 22%. Этот вид цемента выпускается двух марок 300 и 400, бездобавочный или содержащий активные минеральные добавки в количестве св. 10 до 20%. Применяют сульфатостойкий цемент для изготовления бетонных и железобетонных конструкций (свай, фундаментов и др.), эксплуатируемых в условиях постоянного воздействия растворов сульфатов. Пример маркировки: ССПЦ 400-Д0 или ССПЦ 300-Д20.

На основе сульфатостойкого клинкера выпускается сульфатостойкий шлакопортландцемент (ССШПЦ 400) с содержанием доменного гранулированного шлака св. 40 до 60%.

Пуццолановый портландцемент приготавливают на основе клинкера, содержащем не более 8% трехкальциевого алюмината. Содержание активных минеральных добавок – свыше 20 до 40%. Цемент выпускается марок 300 и 400. Он предназначен для бетонирования гидротехнических сооружений, эксплуатируемых в условиях постоянной фильтрации пресной воды. Пример маркировки: ППЦ 400.

Пластифицированные цементы получают добавляя при помоле около 0,25% пластифицирующей добавки. Обычно в качестве такой добавки используют лигносульфонаты техническиен (ЛСТ). Распределяясь при помоле по поверхности цементных зерен мономолекулярным слоем, они придают цементам меньшую водопотребность, что позволяет при неизменном расходе цемента получать более прочные бетоны. Цементно-песчаный раствор (на стандартном песке) при водоцементном отношении 0,4 должен давать расплыв на встряхивающем столике не менее 135 мм. Для обозначения пластифицированного цемента в конце маркировки добавляется Пл: ССПЦ 400-Пл, ПЦ 500-Д20-Пл и т.д.

Гидрофобный цемент получают добавлением при помоле 0,1-0,2% гидрофобизирующей добавки (мылонафт, асидол и др.). Гидрофобный цемент не должен впитывать в себя воду в течение 5 мин от момента нанесения капли воды на поверхность цемента. При затворении такого цемента водой гидрофобное вещество в ней растворяется, а затем, после затвердевания, когда лишняя вода испарится, гидрофобизирующее вещество оседает на стенках капилляров, придавая им водоотталкивающие свойства, что способствует меньшему водопоглощению и большей морозостойкости бетона. Гидрофобный цемент дольше сохраняется, не ухудшая своего качества, так как гидрофобные пленки на его зернах значительно уменьшают его гиг-

роскопичность. Для обозначения гидрофобного цемента в конце маркировки добавляется Гф: ПЦ 500-Д20-Гф, ССПЦ 400-Гф.

Белый цемент получают совместным помолом белого клинкера, гипсового камня и минеральных добавок белого цвета (до 20%). Белый клинкер получают обжигом до спекания смеси чистых известняков и белой глины (каолина). Обжиг ведут на газообразном топливе, не содержащем соединений, окрашивающих клинкер. Помол цемента проводят в мельницах с фарфоровыми шарами и внутренней поверхностью, офутерованной фарфоровыми плитами. Белый цемент выпускается марок ПЦБ 400 и ПЦБ 500 без добавок (Д0) и с добавкой (Д20).

Цветные цементы получают добавляя к белому цементу при помоле или путем тщательного смешивания щелочестойких минеральных пигментов (охра, оксиды алюминия, железа, хрома, кадмия и др.) с белым цементом.

Глиноземистый цемент – это быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, получаемое помолом клинкера, состоящего преимущественно из низкоосновных алюминатов кальция ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) и алюмосиликата кальция ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$). Сырьем для получения клинкера являются известняки и бокситы, содержащие в большом количестве глинозем $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Обжиг сырьевой шихты ведут чаще всего в электроплавильных печах при максимальной температуре 1800-2000°C. Спекшийся при обжиге материал подвергают тонкому измельчению до прохода через сито №008 не менее 90%. Начало схватывания глиноземистого цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания – позднее 10 ч после затворения водой.

Марку глиноземистого цемента определяют так же как портландцемента, но в возрасте 3 сут. При этом прочность образцов через 1 сут твердения должна быть не менее для марки ГЦ40 – 22,5 МПа, марки ГЦ50 – 27,4 МПа и марки ГЦ60 – 32,4 МПа.

Основными особенностями глиноземистого цемента являются:

- быстрое твердение;
- большое тепловыделение, что затрудняет его применение в массивных конструкциях без специальных мер по отводу тепла;
- высокая прочность, достигаемая только при твердении при температуре окружающей среды не выше плюс 25°C;
- высокая стойкость против выщелачивания и сульфатостойкость (в затвердевшем камне $\text{Ca}(\text{OH})_2$ практически отсутствует).

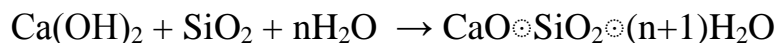
Применяют глиноземистый цемент при производстве аварийно-ремонтных работ, приготовлении быстротвердеющих бетонов и растворов, в производстве жаростойких изделий.

На основе глиноземистого цемента получают расширяющиеся, безусадочные и напрягающие цементы.

Автоклавные (силикатные) вяжущие

К гидравлическим вяжущим относятся и безклинкерные автоклавные вяжущие материалы., представляющие собой тонкоизмельченные смеси воздушной извести и кремнеземистого компонента (чаще всего кварцевого песка). Твердение этих вяжущих базируется на том, что растворимость кристаллического кварца в воде при обычных условиях ничтожна, но при температуре выше 175 °C она многократно возрастает (с 0,006 до 0,18 г/л). При этих условиях (в растворенном состоянии) ок-

сид кремния вступает во взаимодействие с гидроксидом кальция, результатом которого являются гидросиликаты кальция:



Поскольку создать влажную среду (необходимую для растворения гидроксида кальция и оксида кремния) можно только в герметичных сосудах – автоклавах, эти вяжущие получили название автоклавных. Обычно изделия на основе автоклавных вяжущих обрабатывают в автоклавах при давлении пара не менее 0,8 МПа и температуре не ниже 175°C. С использованием автоклавных вяжущих производят силикатный кирпич, плотные силикатные бетоны и ячеистые бетоны: пеносиликат и газосиликат. Материалы и изделия автоклавного твердения не рекомендуется применять в подземных частях зданий и сооружений, дорожных конструкциях и для устройства дымоходов. Эти ограничения связаны с пониженной водостойкостью, морозостойкостью и жаростойкостью автоклавных вяжущих веществ.

6. ЦЕМЕНТНЫЕ БЕТОНЫ

Бетоном называют искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания рационально подобранной и тщательно уплотненной смеси, состоящей из крупного и мелкого заполнителей, вяжущего, воды и специальных добавок.

Основные преимущества бетонов:

- варьирование свойств в широком диапазоне (прочность, плотность, теплопроводность, водонепроницаемость, морозостойкость, химическая стойкость и др.);
- возможность придания изделиям и конструкциям нужной конфигурации и размеров;
- возможность полной механизации производства бетонных смесей и бетонирования конструкций;
- возможность производства бетонных работ в любое время года.

Недостатки бетонов:

- малая прочность на растяжение в сравнении с прочностью при сжатии (10-15%);
- усадка при высыхании и набухание при увлажнении (влажностные деформации);
- пониженная по сравнению с многими природными каменными материалами долговечность, особенно при действии солей и кислот.

6.1. Классификация бетонов

По плотности:

- **особо тяжелые** со средней плотностью более 2500 кг/м³; их приготавливают, применяя в качестве крупного и мелкого заполнителей чугуновый скрап, стальную стружку, руды, свинцовые заполнители и др.; основное назначение этих бетонов – защита от проникающей радиации (атомные реакторы и т.п.);

- **тяжелые** со средней плотностью 2200-2500 кг/м³; в качестве заполнителей в этих бетонах применяют щебень и гравий из плотных горных пород (с плотностью от 2000 до 3000 кг/м³) и плотные природные или искусственные пески (с плотностью от 2000 до 2800 кг/м³); тяжелые бетоны применяют для изготовления различных не-

сущих конструкций (фундаментов, колонн, ригелей, балок и др.), при строительстве гидротехнических сооружений (плотин, дамб, пирсов, берегоукреплений, мелиоративных сооружений и т.п.), в дорожном и аэродромном строительстве (верхние покрытия дорог взлетно-посадочных полос, тротуаров, полов промышленных предприятий, путепроводов, железобетонных шпал и др.), в строительстве водопроводных сетей и канализационных коллекторов;

- **облегченные** со средней плотностью 1800-2200 кг/м³; в качестве заполнителей в них применяют природные или искусственный щебень и песок с небольшой пористостью (10-20%); такие бетоны могут быть получены и на плотных заполнителях, но с обязательной поризацией цементного камня с помощью воздухововлекающих или газообразующих добавок; применяют облегченные бетоны так же как и тяжелые, если они отвечают проектным требованиям по прочности, долговечности и др. показателям назначения;

- **легкие** бетоны с плотностью от 500 до 1800 кг/м³; их получают, используя в качестве крупного и мелкого заполнителей пористые материалы природного (туф, опока, вулканическая пемза, известняк-ракушечник) или искусственного происхождения (керамзит, аглопорит, шлаковая пемза и др.); применяют легкие бетоны в ограждающих конструкциях (наружные стены, покрытия, перекрытия подвалов и др.) зданий различного назначения; легкие бетоны подразделяются на *плотные* и *поризованные*; *плотными* бетонами называют такие, в которых межзерновое пространство смеси крупного и мелкого заполнителей полностью заполнено плотным цементным камнем; в *поризованных* бетонах это пространство заполнено поризованным цементным камнем;

- **ячеистые** бетоны являются разновидность легких бетонов; их получают поризацией цементно-песчаных смесей (без крупного заполнителя) с помощью пенообразующих или газообразующих добавок; их средняя плотность находится в пределах от 500 до 1200 кг/м³; по назначению легкие ячеистые бетоны подразделяются на *конструкционно-теплоизоляционные* (с плотностью от 500 до 900 кг/м³) и *конструкционные* (с плотностью от 1000 до 1200 кг/м³); конструкционно-теплоизоляционные ячеистые бетоны применяют в несущих или самонесущих (в зависимости от плотности) ограждающих конструкциях, конструкционные – в несущих конструкциях; В зависимости от способа поризации ячеистые бетоны делятся на *пенно-* и *газобетоны*;

- **особо легкие** бетоны со средней плотностью менее 500 кг/м³; их получают, используя высокопористые заполнители (вспученные перлит или вермикулит, пенополистирол или другие пенопласты) или в виде ячеистых бетонов; применяют особо легкие бетоны и изделия из них в качестве утеплителей в многослойных ограждающих конструкциях, а также для утепления различных тепловых агрегатов (печей, сушильных устройств, холодильных камер и т.п.).

По виду вяжущего:

- цементные бетоны;
- силикатные бетоны;
- гипсобетоны;
- полимерцементные бетоны;
- полимербетоны;
- асфальтобетоны.

По назначению:

- конструкционные;
- конструкционно-теплоизоляционные;
- теплоизоляционные;
- специальные. предназначенные для защиты от радиации, жаростойкие, кислотостойкие, декоративные.

По способу применения:

- для бетонирования монолитных конструкций;
- для производства сборных бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях.

По строению (структуре):

- плотные (со слитной структурой);
- с поризованным цементным камнем;
- крупнопористые;
- ячеистые.

По условиям твердения:

- естественного твердения;
- пропаренные;
- автоклавные.

По способу уплотнения:

- литые;
- вибрированные;
- прессованные.

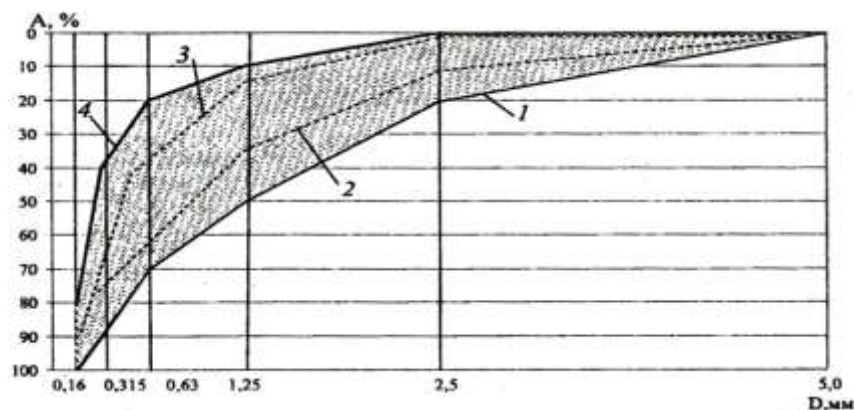
6.2. Материалы для тяжелых бетонов

Цементы: общестроительные марок 300-600 (бездобавочные или с активными минеральными добавками (природные пуццоланы или гранулированный доменный шлак – в количестве не более 20%); *шлакопортландцемент* (с содержанием шлака, как правило, не более 40%); *специальные:* пуццолановый портландцемент марок 300 и 400; сульфатостойкий портландцемент марок 300-500; пуццолановый сульфатостойкий портландцемент марок 300 и 400; гидрофобный и пластифицированные портландцементы; глиноземистый цемент, безусадочный, расширяющийся, напрягающий и др. цементы.

Заполнители: мелкие и крупные.

Мелкий заполнитель – песок с размером зерен от 0,16 до 5,0 мм; применяют пески:

- природные, получаемые при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений;
- дробленые, получаемые дроблением скальных пород и гравия;
- песок из отсеивов дробления, получаемый отсеиванием зерен мельче 5 мм при дроблении скальных пород или крупного гравия на щебень.



Зерновой состав песка:
 1 — допустимая нижняя граница крупности песка ($M_{кр} = 1,5$); 2 — рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($M_{кр} = 2,0$) для бетона класса В15 и выше; 3 — рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($M_{кр} = 2,5$) для бетонов класса В25 и выше; 4 — допустимая верхняя граница крупности песка ($M_{кр} = 3,25$) для растворов и бетонов (заштрихованная область — пески, допустимые для использования в растворах и бетонах)

К мелкому заполнителю предъявляются требования по зерновому (гранулометрическому) составу, содержанию пылевидных и глинистых частиц, органических примесей; к пескам, получаемых в результате дробления скальных пород или гравия, кроме того, предъявляются требования по морозостойкости. По крупности пески подразделяются на 8 видов:

- повышенной крупности с $M_{кр}$ от 3,0 до 3,5
- крупные с $M_{кр}$ св. 2,5 до 3,0
- средней крупности с $M_{кр}$ св. 2,0 до 2,5
- мелкие с $M_{кр}$ св. 1,5 до 2,0
- очень мелкие с $M_{кр}$ св. 1,0 до 1,5
- тонкие с $M_{кр}$ от 0,7 до 1,0
- очень тонкие с $M_{кр} < 0,7$

Для тяжелых бетонов предпочтительнее пески средней крупности.

Крупные заполнители (щебень и гравий), представляющие собой смесь зерен размерами от 5,0 до 80(70) мм.

Щебень получают дроблением скальных пород или крупного гравия (щебень из гравия), а также доменных и мартеновских шлаков, устойчивых к самопроизвольному распаду.

Гравий получают рассевом природных гравийно-песчаных смесей.

По крупности зерен крупные заполнители подразделяются на фракции 5-10; 10-20; 20-40 и 40-70 мм. В бетонах отдельные фракции, как правило, не применяются (за исключением фракции 5-10 мм в мелкозернистых бетонах), а применяют смеси фракций: 5-500 мм; 5-400 мм; 10-40 мм; 10-70 мм и 20-70 мм. Содержание отдельных фракций в щебне (гравии) должно быть таким, чтобы их смесь имела минимальный объем межзерновых пустот, заполняемых песком.

К крупному заполнителю предъявляются требования по:

- зерновому составу;
- содержанию зерен пластинчатой и игловатой формы;
- прочности;
- содержанию зерен слабых пород (в гравии и щебне из гравия);
- содержанию пылевидных и глинистых частиц;
- содержанию органических примесей в гравии и щебня из гравия;
- морозостойкости;

- истираемости в полочном барабане (для дорожных бетонов).

Добавки. В бетонах применяют добавки, позволяющие регулировать свойства как бетонных смесей, так и бетонов. К ним относятся:

- *пластифицирующие* (ЛСТ, С-3, СП-1, Дофен и др.);
- *гидрофобизирующие* (кремнийорганические ГКЖ-10, ГКЖ-11, ГКЖ-94);
- *воздуховолекающие* (СНВ, мылонафт, асидол и др.);
- *ускорители схватывания и твердения* (хлористый кальций, сульфат натрия, нитрит натрия и др.);
- *замедлители схватывания* (патока);
- *противоморозные* (хлористый кальций, хлористый натрий, карбамид и их смеси и др.)

6.3. Бетонная смесь

Бетонной смесью называют смесь всех компонентов бетона до начала схватывания и твердения. По мере затвердевания смесь превращается в *бетон*.

Важнейшими свойствами бетонных смесей являются:

- тиксотропность;
- удобоукладываемость;
- связность.

Тиксотропность - способность бетонной смеси терять свою структурную прочность (разжижаться) при динамических (вибрации или толчках) воздействиях на нее, приобретая при этом свойства тяжелой жидкости (растекаться), и восстанавливать свою первоначальную структуру и прочность после прекращения этих воздействий. Это свойство используется при уплотнении бетонных смесей вибрацией.

Удобоукладываемость – это способность бетонной смеси заполнять пространство формы (при производстве железобетонных изделий в заводских условиях) или опалубки (при монолитном бетонировании) под действием сил гравитации (собственного веса) или внешних сил (вибрации, трамбования и т.п.), сохраняя при этом однородность.

По удобоукладываемости бетонные смеси бывают *подвижные* и *жесткие*. В связи с этим применяют разные методы оценки удобоукладываемости.

Удобоукладываемость *подвижных* бетонных смесей оценивается величиной осадки стандартного бетонного конуса, выраженной в сантиметрах.

По подвижности бетонные смеси подразделяются на *марки*: П1 (1-4см), П2 (5-9 см), П3 (10-15 см), П4 (16-20 см) и П5 (21 см и более).

Подвижные смеси марок П1 и П2 применяются в основном в производстве сборных железобетонных изделий на заводах ЖБИ.

Подвижные смеси марок П2-П5 применяют при монолитном бетонировании конструкций в условиях строительной площадки и производстве тонкостенных железобетонных изделий в кассетах или объемных конструкций (сантехкабин, объемных элементов зданий, вентиляционных блоков и др.).

Жесткие смеси - это смеси, не обладающие подвижностью ($ОК=0$). Удобоукладываемость этих смесей характеризуется временем в секундах вибрирования, в течение которого предварительно отформованный бетонный конус после разрушения под действием вибрации растечется в приборе и уплотнится. Их удобоукладываемость характеризуется марками Ж1, Ж2, Ж3, и Ж4. Жесткие смеси всех марок и подвижные смеси марки П1 применяются при заводском изготовлении сборных железобетонных изделий и конструкций.

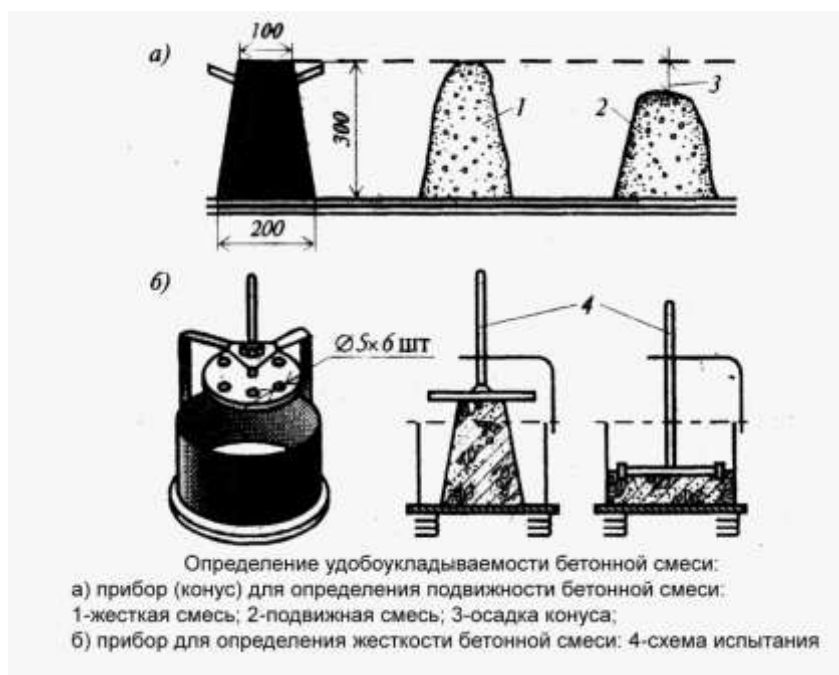


Таблица 6.1– Марки бетонных смесей по удобоукладываемости

Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости		
	жесткость, с	подвижность, см	
		осадка конуса	расплыв конуса
Жесткие смеси			
Ж-4	31-60	-	-
Ж-3	21-30	-	-
Ж-2	11-20	-	-
Ж-1	5-10	-	-
Подвижные смеси			
П1	4 и менее	1-4	-
П2	-	5-9	-
П3	-	10-15	-
П4	-	16-20	26-30
П5	-	21 и более	31 и более

Удобоукладываемость бетонных смесей зависит от вязкости и объема цементного теста, крупности зерен заполнителей (особенно песка), формы и характера поверхности зерен заполнителей (округлая, остроугольная, гладкая, шероховатая).

Для того, чтобы бетонная смесь была удобоукладываемой, необходимо, чтобы объем растворной составляющей в ней был больше объема пустот между зернами крупного заполнителя, то есть чтобы зерна крупного заполнителя были раздвинуты растворной составляющей. Объем растворной составляющей характеризуется коэффициентом раздвижки зерен крупного заполнителя:

$$\alpha = \frac{V_{\text{раств}}}{V_{\text{пуст}}},$$

где $V_{\text{раств}}$ – объем растворной составляющей в бетонной смеси;

$V_{\text{пуст}}$ – объем межзерновых пустот в щебне в свободно насыпном состоянии.

$$V_{\text{раств}} = \frac{\Pi}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\Pi}{\rho_{\text{п}}} + B,$$

где Ц – содержание цемента в 1 м³ бетонной смеси, кг;
 $\rho_{\text{ц}}$ – истинная плотность цемента, кг/л;
 П – содержание песка в 1 м³ бетонной смеси, кг;
 $\rho_{\text{п}}$ – истинная плотность песка, кг/л;
 В – содержание воды в 1 м³ бетонной смеси, л;

$$V_{\text{пуст}} = \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{нщ}}} \left(1 - \frac{\rho_{\text{нщ}}}{\rho_{\text{щ}}} \right),$$

где Щ – содержание щебня 1 м³ бетонной смеси, кг;
 $\rho_{\text{нщ}}$ – насыпная плотность щебня, кг/л;
 $\rho_{\text{щ}}$ – средняя плотность щебня в куске, кг/л.
 α – коэффициент раздвижки зерен в плотных бетонах.

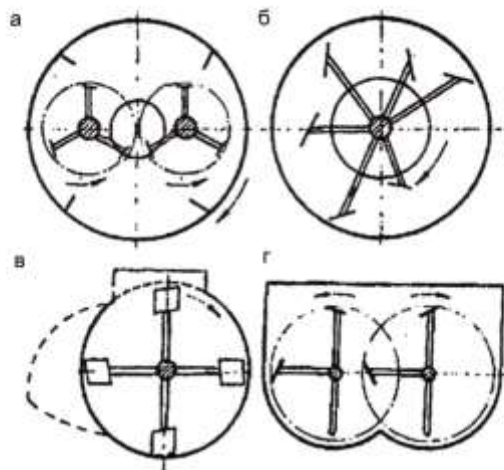
6.4. Приготовление бетонных смесей

Бетонные смеси приготавливают в стационарных и инвентарных смесительных установках. В их состав входят следующие основные технологические узлы:

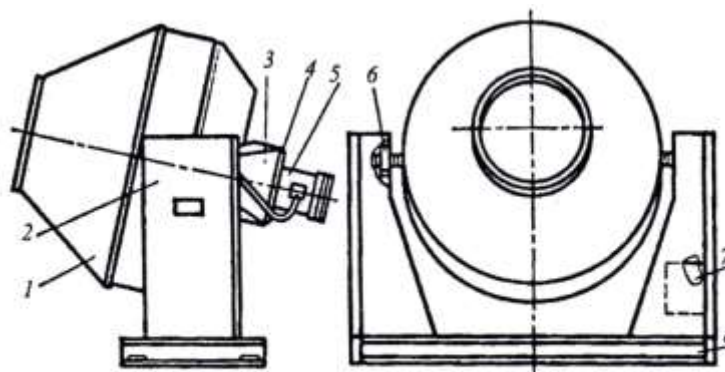
- склады цемента, заполнителей и добавок;
- система расходных бункеров для твердых компонентов и расходных емкостей – для жидких (воды, растворов добавок);
- дозаторы весовые или объемные для дозирования компонентов бетонной смеси;
- бетоносмесители;
- накопительные бункера для приема готовой бетонной смеси из бетоносмесителя и выдачи ее в транспортные средства.

В зависимости от компоновки по высоте бетоносмесительные установки расходные емкости находятся на самом высоком уровне, откуда они под действием силы тяжести поступают в дозаторы и далее – в смеситель. Партерная компоновка предусматривает размещение оборудования на одном уровне.

Бетоносмесители бывают по способу перемешивания компонентов бывают *гравитационные* и *принудительного перемешивания*. По принципу работы они подразделяются на смесители *периодического* и *непрерывного* действия.



Схемы циклических бетоносмесителей принудительного действия:
а - противоточный двухвалый смеситель с вращающейся горизонтальной чашей; б - роторный смеситель; в - смеситель с одним горизонтальным валом; г - двухвалый смеситель с горизонтальными валами



Бетоносмеситель гравитационного действия;
1 - барабан; 2 - боковая стойка; 3 - траверса; 4 - редуктор; 5 - электродвигатель;
6 - цапфа; 7 - механизм опрокидывания барабана; 8 - рама

Загрузка смесителей периодического действия составляющими производится на объем замеса, величину которого определяют по формуле:

$$V_{\text{зам}} = V_{\text{б.см.}} \times B,$$

где $V_{\text{б.см.}}$ – емкость смесительного барабана, м^3

B – коэффициент выхода бетона, определяемый по формуле

$$B = \frac{1000}{\frac{Ц}{\rho_{\text{нц}}} + \frac{П}{\rho_{\text{нп}}} + \frac{Щ}{\rho_{\text{нщ}}}},$$

где Ц, П, Щ – расходы цемента, песка и крупного заполнителя на 1 м^3 бетонной смеси, кг;

$\rho_{\text{нц}}$, $\rho_{\text{нп}}$, $\rho_{\text{нщ}}$ – насыпные плотности цемента, песка и крупного заполнителя, кг/л.

Для подвижных бетонных смесей $B = 0,59-0,65$; для жестких $B = 1,05-1,15$.

Расход материалов, загружаемых в смеситель для приготовления одного замеса максимального объема, определяют по формулам:

$$Ц_{\text{зам}} = Ц \times V_{\text{б.см.}} \times B; \quad П_{\text{зам}} = П \times V_{\text{б.см.}} \times B; \quad Щ_{\text{зам}} = Щ \times V_{\text{б.см.}} \times B;$$

6.5. Укладка и уплотнение бетонных смесей

Укладка – распределение бетонной смеси в объеме опалубки или формооснастки и разравнивание слоем заданной толщины.

В зависимости от способа бетонирования применяют следующие механизмы и средства для укладки смесей:

- в заводских условиях (при производстве сборных изделий и конструкций): бетоноукладчики, оборудованные устройствами для объемного дозирования смесей (дозаторами): лотковыми, шнековыми и ленточными питателями;

- в построечных условиях с помощью специальных бадей, перемещаемых подъемными кранами, и бетононасосами.

Уплотнение – это внешнее механическое воздействие на уложенную в формооснастку или опалубку бетонную смесь с целью придания ей максимальной плотности за счет удаления вовлеченного при перемешивании воздуха.

Работа, затрачиваемая на уплотнение смеси, должна быть увязана с ее удобоукладываемости. При недостаточной работе уплотнения смесь недоуплотняется, а бетон будет пористым и менее прочным. При избыточной работе уплотнения возникает опасность расслоения бетонной смеси по высоте уплотняемого слоя, отжатие цементного теста вверх и оседание заполнителей и части цемента. В результате этого затвердевший бетон оказывается неоднородным как по плотности, так и по прочности.

В условиях строительной площадки бетонные смеси уплотняют вибраторами, которые в зависимости от от способа передачи вибрации на бетонную смесь бывают глубинные, поверхностные, навесные.

Глубинный вибратор представляет собой металлический кожух, внутри которого находится вал с неуравновешенными массами (дебалансами), которые при вращении вала с большой скоростью (6000-12000 об/мин) под действием центробежной силы совершают круговые колебания, передаваемые на бетонную смесь. Глубинными вибраторами уплотняют подвижные бетонные смеси марок П1-П3. Их применяют при бетонировании массивных конструкций.

Поверхностный вибратор представляет собой стальную плиту, на которой жестко закреплен электродвигатель с дебалансами на валу. Вибрация на бетонную смесь передается через плиту. Толщина уплотняемого слоя зависит от удобоукладываемости подвижных смесей марок П1-П3 и, как правило, не превышает 30 см. Эти вибраторы применяют при бетонировании плоских и протяженных конструкций небольшой толщины.

Навесной вибратор представляет собой электродвигатель с дебалансами на валу и предназначен для уплотнения бетонных смесей при бетонировании вертикально расположенных конструкций (колонн, стен и т.п.). Энергию вибрации такой вибратор передает через опалубку, на которой его закрепляют.

В заводских условиях применяют следующие способы уплотнения: объемное вибрирование со статическим пригрузом или без него, виброштампование, прессование в сочетании с вибрацией или без нее, центрифугирование.

Объемное вибрирование осуществляют на виброплощадках, представляющих собой жесткую стальную плиту, опирающуюся на упругие опоры. К плите снизу жестко закреплены валы с дебалансами, которые при вращении со скоростью 2800-2900 об/мин вызывают колебание влиты. Объемное увибрирование применяют для уплотнения смесей марок по удобоукладываемости Ж1-П2. Для ускорения уплотнения и одновременного выравнивания верхней поверхности плоских изделий при

этом способе уплотнения применяют статические пригрузки, оказывающие давление на уплотняемую смесь около 0,2-0,5 кг/см².

Виброштампование осуществляют на виброплощадках с использованием вибрирующих штампов. Этот способ применяют при формировании из жестких бетонных смесей изделий сложной формы. Сразу после уплотнения изделие может быть освобождено от штампов и боковых бортов формооснастки.

Прессование статическое или в сочетании с вибрацией применяют при уплотнении малоувлажненных мелкозернистых смесей (с влажностью 6-8%) в производстве мелкогабаритных изделий (тротуарных плит, бортовых камней, облицовочных плит и т.п.). При статическом прессовании прессующее давление, оказываемое на уплотняемую смесь, составляет 25-40 МПа, а при вибропрессовании – до 5 МПа.

Центрифугирование применяют для формирования протяженных пустотелых изделий: труб, опор линий электропередач и др. Бетонную смесь марок по удобоукладываемости ПЗ-П4 загружают в полость стальной цилиндрической формы, установленной на роликовые опоры центрифуги. Форму приводят во вращение, при котором бетонная смесь под действие центробежной силы сначала распределяется слоем равной толщины по внутренней поверхности формы, а затем при большей скорости вращения – уплотняется. При этом часть воды отжимается внутрь формы, благодаря чему уменьшается водоцементное отношение. Отжавшуюся воду затем сливают из отформованного изделия.

6.6. Твердение бетона

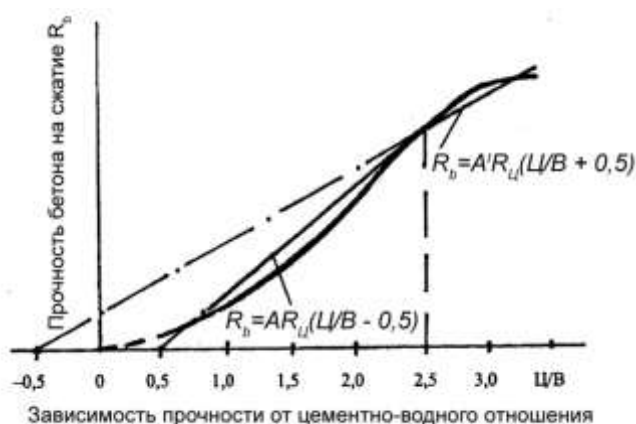
Затвердевание бетона происходит в результате физико-химических процессов взаимодействия цемента и воды. Наиболее благоприятными условиями твердения являются влажная воздушная среда (относительная влажность, близкая к 100%) и температура среды плюс 15-20°С. При пониженной влажности среды и повышенной температуре происходит высыхание бетона и он не достигает своей максимальной прочности. Поэтому в течение нормативного срока твердения (то есть такого, при котором определяют проектную прочность) необходимо принимать меры, исключающие испарение из него воды, особенно на начальной стадии твердения. Это достигается защитой открытых поверхностей бетонных конструкций покрытиями, предотвращающими испарение воды. В качестве таких покрытий применяют обработку битумными эмульсиями, укрытие слоем увлажненного песка или древесных опилок, паронепроницаемой полимерной пленкой.

При пониженных температурах твердение бетона замедляется и может полностью приостановиться при замерзании. Для предотвращения этого в зимнее время забетонированные конструкции прогревают водяным паром (паропрогрев) или путем пропускания через них электрического тока (электропрогрев). При этом с целью экономии тепла и обеспечения равномерной температуры бетона по всему объему конструкции бетонирование производят в утепленной опалубке.

При невозможности или технико-экономической нецелесообразности тепловой обработки для бетонирования конструкций в зимнее время применяют «холодные» бетонные смеси, затворяемые не водой, а водными растворами солей-электролитов: хлорида кальция, поташа, мочевины и др. Количество этих солей в составе смеси назначают в зависимости от среднесуточной температуры воздуха за последние 5 суток: чем она ниже, тем больше требуется добавка соли. Часто холодные смеси применяют в сочетании с обогревом, что дает возможность уменьшить содержание солей в бетоне.

При твердении бетона в неблагоприятных условиях очень важно защитить его от жары в летнее время и промерзания зимой до достижения им так называемой *критической прочности*, при которой необратимые изменения в структуре бетона в последующем будут минимальными. Величина критической прочности составляет от 30 до 50% проектной прочности.

Прочность бетона, полученного из одних и тех же материалов, зависит от цементно-водного отношения: чем больше значение Ц/В, тем выше прочность. Увеличение прочности цементного камня с ростом Ц/В обусловлено тем, что чем больше Ц/В, тем меньше остается воды, не востребованной на гидратацию цемента и, следовательно тем меньше пористость и выше плотность и прочность образовавшегося цементного камня, скрепляющего зерна заполнителей.



Если приготовить из одних и тех же материалов смеси одинаковой удобоукладываемости и в одинаковой степени тщательно уплотнить, то прочность бетона в возрасте 28 сут нормального твердения будет описываться уравнением

$$R_{28} = A \cdot R_u (\text{Ц/В} \pm 0,5),$$

где R_u – активность цемента, МПа;

A – коэффициент, учитывающий качество заполнителей; численные значения коэффициента A приведены в таблице

Таблица 6.2 – Значения коэффициента A

Качество заполнителей	Коэффициент A	
	$A_1 (\text{Ц/В} \leq 2,5)$	$A_2 (\text{Ц/В} > 2,5)$
Высокое	0,65	0,43
Среднее	0,60	0,40
Низкое	0,55	0,37

К высококачественным относятся чистый щебень из прочных скальных пород, рассеянный на отдельные фракции, которые дозируются в смеситель в строго заданных количествах, песок средней крупности, не содержащий ПГЧ и органические примеси, портландцемент марки не ниже 550, содержащий не более 5% минеральных добавок.

Материалы среднего качества – заполнители, по зерновому составу и содержанию вредных примесей отвечают требованиям стандартов. Щебень может быть получен дроблением плотных пород осадочного или метаморфического происхождения, а также дроблением крупного гравия. Портландцемент марки не ниже 400.

Низкокачественные материалы - заполнители низкой прочности не удовлетворительного гранулометрического состава, мелкий и очень мелкий песок, цемент марки 300.

6.7. Разновидности бетонов

Тяжелые конструкционные бетоны приготавливают с использованием прочных заполнителей из горных пород плотностью в куске не менее $1,8 \text{ г/см}^3$. Эти бетоны предназначены для изготовления несущих конструкций разного назначения: фундаментов, колонн, балок, плит перекрытий и т.п. Основное требование к ним – достаточная прочность. Нередко к ним предъявляются требования по морозостойкости и водонепроницаемости (фундаменты, плиты балконов и др.).

Высокопрочные бетоны приготавливают с использованием портландцемента марок не ниже 600, фракционированного щебня из плотных и прочных магматических пород, песка с модулем крупности не менее 3,0. Для уменьшения водосодержания применяют суперпластификаторы и разжижители, позволяющие снизить водоцементное отношение до 0,25-0,30. Эти бетоны имеют прочность при сжатии не ниже 60 МПа. Применяют высокопрочные бетоны для изготовления особо ответственных конструкций (пролетные строения автомобильных и железнодорожных мостов, каркасы высотных и уникальных зданий и др.).

Мелкозернистые бетоны приготавливают с использованием щебня с крупностью зерен не более 10 мм. Они предназначены для изготовления тонкостенных конструкций, а также тротуарных плит и элементов малых архитектурных форм, облицовочных плит и т.п.

Гидротехнические бетоны предназначены для строительства плотин, дамб, пирсов, облицовок каналов и др. К ним предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости (W до 1,2 МПа) и морозостойкости (F до 400). Для обеспечения требуемой водонепроницаемости и морозостойкости в состав бетонов вводят пластифицирующие, воздухововлекающие и газообразующие добавки.

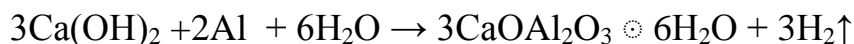
Дорожные бетоны приготавливают с использованием прочных, износостойких морозостойких заполнителей и специальных видов портландцемента с нормированным минеральным составом клинкера (содержание трехкальциевого алюмината не более 6%): бездобавочного, пластифицированного, гидрофобного, сульфатостойкого марок не ниже 500. Эти бетоны применяют для устройства верхних покрытий автомобильных дорог и взлетно-посадочных полос аэродромов.

Легкие бетоны приготавливают с использованием природных и искусственных пористых заполнителей. В зависимости от средней плотности они делятся на конструкционные с плотностью $1400-1800 \text{ кг/м}^3$ и конструкционно-теплоизоляционные – $900-1400 \text{ кг/м}^3$.

Ячеистые бетоны приготавливают из цемента, мелкого или тонкоизмельченного наполнителя (мелкий, тонкий или молотый песок, зола-уноса, молотый шлак и т.п.). В зависимости от способа создания ячеистой структуры эти бетоны подразделяются на пенобетоны и газобетоны, а в зависимости от условий твердения – на неавтоклавные (твердеющие в естественных условиях или в среде насыщенного водяного пара при атмосферном давлении) и автоклавные (твердеющие в среде насыщенного водяного пара при давлении 0,8-1,2 МПа).

Пенобетоны получают, смешивая цементно-песчаный раствор с предварительно приготовленной технической пеной. Газобетоны получают с помощью газообразователя, в качестве которого чаще всего применяют алюминиевую пудру, до-

бавляемую в смесь цемента и кремнеземистого компонента либо тонкого заполнителя. Поризация происходит за счет взаимодействия металлического алюминия с гидроксидом кальция, выделяющимся при гидратации цемента:



По назначению ячеистые бетоны делятся на теплоизоляционные со средней плотностью до 500 кг/м³ и конструктивно- теплоизоляционные со средней плотностью от 500 до 1200 кг/м³. Применяют ячеистые бетоны для устройства ограждающих конструкций и теплоизоляции наружных стен, кровель, оборудования.

6.8. Основы проектирования состава плотного тяжелого бетона

Определение состава бетона заданной прочности производят после испытания и оценки качества исходных материалов расчетно-экспериментальным методом, известным как метод абсолютных объемов, предложенным проф. Б.Г.Скрамтаевым.

В основе метода лежит положение о том, что объем тщательно уплотненной бетонной смеси (не содержащей вовлеченного воздуха) равен сумме абсолютных объемов входящих в нее составляющих. Поскольку проектирование состава бетона ведут на 1м³, то есть 1000 л, это условие записывается в виде:

$$\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \text{В} + \frac{\text{П}}{\rho_{\text{п}}} + \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ}}} = 1000,$$

где Ц, В, П,и Щ – содержание цемента, воды, песка и щебня (или гравия) в 1 м³ уплотненной бетонной смеси

$\rho_{\text{ц}}$, $\rho_{\text{п}}$ и $\rho_{\text{щ}}$ – истинная плотность цемента, средние плотности песка и крупного заполнителя, кг/л.

Для проектирования состава бетона необходимо задаться следующими исходными данными:

- требуемая прочность бетона;
- марка бетонной смеси по удобоукладываемости;
- назначение бетона (по условиям эксплуатации);
- качественные показатели материалов для бетона.

На первом этапе состав бетона определяют расчетным путем, пользуясь графиками и таблицами для определения водопотребности бетонной смеси заданной марки по удобоукладываемости и формулой, описывающей зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения и качества материалов.

Сначала по графикам и таблицам определяют ориентировочное количество воды В л/м³, соответствующее требуемой удобоукладываемости смеси.

Затем по формуле прочности вычисляют цементно-водное отношение, соответствующее требуемой прочности бетона

$$\frac{\text{Ц}}{\text{В}} = \frac{R_{28}}{AR_{\text{ц}}} \pm 0,5$$

По известному расходу воды В и полученному Ц/В вычисляют расход цемента:

$$\text{Ц} = \text{В} \times \frac{\text{Ц}}{\text{В}} \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

При этом необходимо учитывать, что расход цемента должен быть не менее 200 кг/м³ для неармированных конструкций и 220 кг/м³ для армированных (железобетоны) конструкций.

Далее приступают к определению расхода крупного заполнителя. Как уже говорилось, объем растворной составляющей в уплотненной бетонной смеси должен превышать объем пустот между зернами крупного заполнителя на величину раздвижки зерен, то есть:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + В + \frac{П}{\rho_{п}} = \alpha \frac{Щ}{\rho_{нщ}} \cdot V_{пуст}$$

где α – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя, определяемый по графикам либо таблицам в зависимости от объема цементного теста, вычисляемого по уже известным расходам цемента и воды:

$$V_{цт} = \frac{Ц}{\rho_{ц}} + В;$$

$\rho_{нщ}$ – насыпная плотность щебня, кг/л;

$V_{пуст}$ – межзерновая пустотность щебня, отн. ед.

Если правую часть формулы подставить в уравнение абсолютных объемов, то из него можно получить формулу для определения расхода крупного заполнителя на 1 м³ бетонной смеси:

$$Щ = \frac{1000}{\frac{\alpha V_{пуст}}{\rho_{нщ}} + \frac{1}{\rho_{щ}}},$$

где $\rho_{щ}$ – средняя плотность крупного заполнителя в куске, кг/л.

После этого легко вычисляется расход песка

$$П = [1000 - (\frac{Ц}{\rho_{ц}} + В + \frac{Щ}{\rho_{щ}})] \rho_{п}.$$

После этого приступают к экспериментальному уточнению полученного состава, Цель этого уточнения состоит в обеспечении заданной удобоукладываемости бетонной смеси и требуемой прочности бетона в проектном возрасте.

Необходимость уточнения состав вызвана тем, что при расчете были использованы справочные данные, которые не в полной мере учитывают реальные свойства использованных материалов.

Уточнение состав выполняют следующим образом.

Приготавливают три пробных замеса объемом каждый не менее 6,5 л из составов, отличающихся разными значениями коэффициента раздвижки зерен: при расчетном его значении и значениях, отличающихся от расчетного в меньшую и большую сторону на 0,1-0,2.

Бетонные смеси доводят до заданной удобоукладываемости, изменяя содержание в них цемента и воды при расчетном и неизменном значении Ц/В. После того как получены смеси с требуемой удобоукладываемостью, определяют их плотность в уплотненном состоянии и формируют образцы для испытания затвердевшего бетона на прочность при сжатии.

По плотности вычисляют фактические объемы приготовленных замесов по формуле:

$$V_{зам} = \frac{\sum m_i}{\rho_{б.см.}},$$

где $\sum m_i$ – сумма масс материалов, находящихся в замесе, кг;

$\rho_{б.см.}$ - фактическая плотность уплотненной бетонной смеси, кг/л.

Затем вычисляют фактические расходы материалов на 1 м³:

$$Ц = \frac{Ц_{зам}}{V_{зам}} \times 1000; \quad B = \frac{B_{зам}}{V_{зам}}; \quad П = \frac{П_{зам}}{V_{зам}}; \quad Ш = \frac{Ш_{зам}}{V_{зам}}.$$

По полученным данным строят график в осях: «расход цемента на 1 м³ – коэффициент раздвижки зерен α », по которому находят то значение коэффициента раздвижки, при котором расход цемента оказался минимальным.

По истечении нормативного срока твердения образцы испытывают на прочность и определяют фактическое значение коэффициента качества материалов:

$$A_{\phi} = \frac{R_{28}}{R_{ц} \left(\frac{Ц}{B} \pm 0,5 \right)}$$

При этом значении вычисляют то значение Ц/В, при котором бетон на данных материалах будет иметь требуемую прочность:

$$\left[\frac{Ц}{B} \right]_{\phi} = \frac{R_{28}}{A_{\phi} R_{ц}} \pm 0,5$$

После этого выполняют расчет состава бетона, принимая уточненные значения цементно-водного отношения, коэффициента раздвижки зерен и коэффициента качества материалов.

Лабораторный состав бетона всегда подбирают с использованием сухих заполнителей. В реальных условиях они имеют чаще всего ту или иную влажность. Если влажность заполнителей не учитывать, то бетонная смесь будет иметь фактическое водосодержание большее, чем в лабораторном составе, и значит будет более подвижной, а Ц/В будет меньше расчетной величины, что приведет к снижению прочности бетона. Поэтому лабораторный состав бетона пересчитывают на производственный с учетом фактической влажности заполнителей. Для этого сначала определяют влажность песка $W_{п}$ и щебня (гравия) $W_{щ}$.

Количество влажных заполнителей в производственном составе рассчитывают по формулам:

$$П_{пр} = П \left(1 + \frac{W_{п}}{100} \right); \quad Ш_{пр} = Ш \left(1 + \frac{W_{щ}}{100} \right),$$

а количество воды, содержащейся в них:

$$B_n = П \frac{W_{п}}{100}; \quad B_{щ} = Ш \frac{W_{щ}}{100}.$$

Дозировку воды на 1 м³ бетона производственного состава быть определяют по формуле:

$$B_{пр} = B - (B_n + B_{щ})$$

6.9. Свойства бетона

Прочность при сжатии бетона определяют испытанием образцов-кубов стандартных размеров. Чаще всего образцы имеют кубическую форму и размеры 70,7 × 70,7 × 70,7 мм; 100 × 100 × 100 мм; 150 × 150 × 150 мм; 200 × 200 × 200 мм и 300 × 300 × 300 мм. В этом ряду базовым является размер 150 × 150 × 150 мм. Размер образцов выбирают в зависимости от максимального размера зерен крупного заполнителя в бетоне:

Максимальный размер зерен крупного заполнителя	10	20	40	70
Размер ребра образца, мм	70,7	100	150,200	300

Для определения прочности при сжатии испытывают не менее 3 образцов-близнецов. Испытания проводят на гидравлических прессах, способных создать максимальное усилие не менее 20% и не более 20% разрушающей нагрузки. Сжимающее усилие при испытании образцов должно быть направлено параллельно слоям укладки бетонной смеси в образцах. Прочность при сжатии вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{S} [\text{МПа, кгс/см}^2],$$

где P – разрушающая нагрузка, Н, кгс;

S – площадь сечения образца, нормального к равнодействующей сжимающего усилия, м^2 , см^2 .

По результатам испытания всех образцов в серии вычисляют среднее арифметическое значение прочности:

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{n}$$

При испытании образцов, имеющих размер ребра, отличный от базового, полученное среднее значение прочности необходимо умножить на масштабный коэффициент:

Размер ребра куба, мм	70,7	100	150	200	300
Масштабный коэффициент	0,85	0,95	1,0	1,05	1,10

Прочность бетона на растяжение определяют несколькими методами: осевым растяжением образцов, имеющих форму «восьмерки», раскалыванием куба или цилиндра по образующей, а также при изгибе образцов-балочек.

Усадка плотных бетонов может достигать 1,35 мм/м, а ячеистых 3 мм/м и более.

Температурные деформации бетона в зависимости от вида и состава находятся в пределах $\alpha_t = (7-15) \cdot 10^{-6} [\frac{1}{^\circ\text{C}}]$.

Морозостойкость общестроительного бетона оценивается числом циклов замораживания в водонасыщенном состоянии при температуре минус $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ и оттаивания в воде при температуре плюс $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ до снижения прочности не более чем на 5%. Базовый метод испытания на морозостойкость дорожных бетонов отличается от метода испытания общестроительных бетонов тем, образцы насыщают и оттаивают не в воде, а в 5%-ном растворе хлорида натрия. Для этих бетонов дополнительным критерием морозостойкости является уменьшение массы образцов не более чем на 3%. Для общестроительных и дорожных бетонов установлены следующие марки по морозостойкости: F25, F35, F 50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800 и F 1000. Для получения бетонов с марками по морозостойкости выше F200 применяют бездобавочные портландцементы с пониженным содержанием трехкальциевого алюмината, а также пластифицирующие и воздухововлекающие добавки.

Морозостойкость бетонов назначают с учетом среднесуточной температуры наружного воздуха наиболее холодной пятидневки, а также с учетом влажностного режима эксплуатации бетона (сухой, нормальный, влажный или мокрый).

7. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

Строительный раствор – искусственный каменеподобный материал, образовавшийся в результате затвердевания рационально подобранной, тщательно перемешанной и уложенной в соответствии с назначением смеси, состоящей из вяжущего, мелкого заполнителя, воды и специальных минеральных или (и) органических добавок, придающих раствору смеси необходимые технологические, а затвердевшему раствору – требуемые строительно-технические свойства.

7.1. Классификация растворов

Растворы классифицируются по следующим признакам.

По основному назначению на:

- *кладочные*, в том числе и для монтажных работ, применяемые для кладки стен с использованием бутового камня, керамического и силикатного кирпича и камней и других мелкогабаритных стеновых изделий;
- *облицовочные*, применяемые для крепления облицовочных плит из природного камня, керамических и бетонных плиток по готовой кладке стен из кирпича и других штучных изделий;
- *штукатурные*, предназначенные для нанесения на готовые поверхности стен, слои грунта, набрызга и накрывки при выполнении штукатурных работ;
- *специальные*: декоративные, тепло- и звукоизоляционные, жаростойкие, кислотостойкие, тампонажные.

По применяемому вяжущему на:

- *простые* (на вяжущем одного вида): известковые, гипсовые, цементные;
- *сложные* (на смешанных вяжущих): цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые.

По средней плотности на:

- *тяжелые*, имеющие среднюю плотность 1500 кг/м^3 и более, приготовляемые с использованием плотных песков (природных кварцевых или полевошпатных, дробленых из плотных горных пород или металлургических шлаков);
- *легкие* со средней плотностью менее 1500 кг/м^3 , в качестве заполнителя в которых применены пески, получаемые дроблением пористых горных пород (туфов, пемзы и др.) или искусственных пористых материалов (керамзита, аглопорита, перлита и др.).

По готовности к применению растворные смеси подразделяются на:

- *готовые*, доставляемые на объект в готовом к применению виде или приготовляемые смешиванием всех составляющих на приобъектных бетоно-растворных узлах;
- *сухие*, приготовляемые на специализированных предприятиях в сухом виде и требующие смешивания с водой или водными растворами добавок на объекте непосредственно перед применением.

7.2. Требования к материалам

Для приготовления готовых растворных смесей применяют материалы, отвечающие требованиям стандартов и технических условий на эти материалы.

В качестве вяжущих материалов применяют:

- *гипсовые вяжущие* (строительный и высокопрочный гипс, ангидритовые вяжущие);
- *известь* строительную воздушную и гидравлическую;
- *портландцемент и шлакопортландцемент*;
- *цементы* пуццолановый и сульфатостойкий;
- *белый портландцемент*;
- *цветные портландцементы*;
- *цемент для строительных растворов*;
- *глину*;
- *смешанные вяжущие* по нормативным документам на конкретное вяжущее.

В качестве заполнителей применяют:

- *песок* для строительных работ;
- *золы-уноса* от сжигания каменных и бурых углей;
- *золо-шлаковые* пески, получаемые дроблением золошлаковых смесей от сжигания каменных и бурых углей;
- *пористые пески*, получаемые дроблением искусственных или природных пористых материалов;
- *песок* из шлаков тепловых электростанций;
- *песок* из шлаков черной и цветной металлургии.

Вода для затворения растворных смесей должна быть проверена на содержание растворенных в ней солей; вода из систем питьевого водоснабжения может применяться без предварительной проверки.

Для регулирования технологических свойств растворных смесей и эксплуатационных характеристик растворов в их состав вводят *химические добавки*:

- *пластифицирующие*, уменьшающие водосодержание и, как правило, улучшающие их водоудерживающую способность и понижающие расслаиваемость; растворы с такими добавками имеют повышенную прочность и морозостойкость;
- *ускоряющие* твердение раствора;
- *улучшающие сцепление* раствора с основанием;
- *предотвращающие замерзание* растворных смесей до затвердевания;
- *придающие растворам специальные свойства*: гидрофобизирующие, окрашивающие, повышающие водонепроницаемость, морозостойкость, кислотостойкость и т.п.

7.3. Технологические свойства растворных смесей

Качество готовых к применению смесей, в том числе полученных затворением сухих смесей, характеризуется следующими показателями:

- *подвижностью*, оцениваемой глубиной погружения стандартного конуса, выраженной в см; по этому показателю смеси подразделяются на марки (табл. 7.1.)

Таблица 7.1 - Классификация растворных смесей по подвижности

Марка по подвижности	Погружение конуса, см
П _к 1	от 1 до 4 вкл.
П _к 2	св. 4 до 8 вкл.
П _к 3	св. 8 до 12 вкл.
П _к 4	св. 12 до 14 вкл.

- *водоудерживающей способностью*, оцениваемой массой испытанной пробы после 10-минутного впитывания из нее воды 10 слоями промокательной бумаги в течение 10 мин, выраженной в процентах к исходной пробе. Этот показатель должен быть не менее 90%, а для глиносодержащих смесей – не менее 93%;

- *расслаиваемостью*, характеризующейся процентным соотношением разности и суммы относительных содержаний песка в верхней и нижней половинах слоя толщиной 150 мм после вибрирования ее в течение 1 мин. Для всех смесей этот показатель должен быть не более 10%;

- *средней плотностью*, контролируемой в тех случаях, когда она оговорена в нормативной или проектной документации;

- *влажностью* сухих смесей, которая до затворения водой должна быть не более, %: 0,2 - для смесей на цементных и смешанных вяжущих, содержащих цемента 80% и более массы смешанного вяжущего; 0,3 - для смесей на смешанных вяжущих, содержащих цемента менее 80% массы смешанного вяжущего.

К растворным смесям специального назначения могут предъявляться дополнительные требования в соответствии с их назначением.

7.4. Требования к затвердевшим растворам

К затвердевшим растворам предъявляются требования по следующим показателям:

- *прочность при сжатии* в образцах-кубах с ребром 7,07 см, определяемая в проектном возрасте:

для растворов, приготовленных без гидравлических вяжущих – 7 сут.;

для растворов, приготовленных с применением гидравлических вяжущих – 28 суток.

прочность растворов в проектном возрасте характеризуется марками М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150 и М200;

- *морозостойкость*, оцениваемая числом циклов попеременного замораживания при температуре минус 15-20 °С и оттаивания при температуре плюс 15-20 °С, вызвавшем снижение прочности при сжатии не более чем на 25% по сравнению с контрольными образцами, а массы – не более чем на 5%. Морозостойкость характеризуется марками F10, F15, F25, F50, F 100, F150 и F200. Для растворов марок М4 и М10, а также для приготовленных без применения гидравлических вяжущих, марки по морозостойкости не назначаются и не контролируются;

- *влажность*, определяемая по потере массы при высушивании образцов или проб раствора до постоянной массы при температуре плюс 105±5 °С, а для растворов на гипсовом вяжущем – 45-55 °С;

- *средняя плотность* затвердевшего раствора, определяемая при нормальной, естественной или нормированной влажности, а также в сухом и воздушно-сухом состоянии.

7.5. Приготовление растворных смесей

Растворные смеси приготавливают, как правило, на централизованных бетонорастворных заводах (узлах). Технологический процесс приготовления включает подготовку заполнителей (удаление включений крупнее 5 мм, фракционирование, удаление пылеватых и глинистых примесей и глины в комках промывкой, сушка,

подогрев в зимнее время), дозирование заполнителя, вяжущих, воды и добавок, тщательное перемешивание их до получения однородной смеси.

В каждом конкретном случае подбирается такой набор операций, который обеспечивает получение смесей с требуемыми технологическими характеристиками.

Перемешивание составляющих смеси осуществляется в растворосмесителях гравитационного (свободного) или принудительного смешивания, работающих циклично или непрерывно. При приготовлении растворных смесей необходимо соблюдать следующие условия:

- дозирование составных частей должно производиться по массе; при производительности смесителя не более 5 м³/ч допускается дозирование по объему;

- погрешность дозирования составляющих, независимо от способа, не должна превышать:

- 1% - при дозировании вяжущих, воды и добавок;

- 2% - при дозировании песка;

- тщательное перемешивание составляющих;

- соответствие подвижности смеси заданной величине

Растворные смеси, предназначенные для кладочных и штукатурных работ при отрицательных температурах воздуха, должны приготавливаться с противоморозными добавками: поташом, нитритом натрия, нитратом кальция совместно с мочевиной.

7.6. Контроль качества растворных смесей

Контроль качества растворных смесей включает определение следующих показателей:

- *подвижности*;

- *расплаиваемости*;

- *водоудерживающей способности*;

- *плотности* (в тех случаях, когда она нормируется).

Подвижность растворной смеси характеризуется измеряемой в сантиметрах глубиной погружения в нее эталонного конуса (прибор СтройЦНИИЛа). Конический сосуд емкостью 3 л заполняют растворной смесью на 1 см ниже его краев и уплотняют ее штыкованием стержнем диаметром 12 мм 25 раз и 5-6-кратным легким постукиванием о стол, после чего ставят на площадку прибора. Острие конуса приводят в соприкосновение с поверхностью смеси в сосуде, фиксируют штангу стопорным винтом и делают первый отсчет по шкале. Затем отпускают стопорный винт, давая конусу свободно погружаться в смесь в течение 1 мин, после чего снимают второй отсчет по шкале. Глубину погружения, измеренную с погрешностью до 1 мм, определяют по разности второго и первого отсчетов.

Расплаиваемость растворной смеси характеризует ее связность при динамических воздействиях (например, при перевозке автомобильным транспортом, перекачивании насосами и т.п.).

Растворную смесь укладывают и уплотняют в форме размером 150×150×150 мм и уплотняют 30 штыкованиями стальным стержнем диаметром 12 мм, а затем подвергают вибрированию в течение 1 мин. После вибрирования верхний слой смеси высотой 7,5±0,5 см отбирают из формы на предварительно взвешенный противень, а нижнюю – на второй противень. Противни с отобранными пробами смеси взвешивают, а их содержимое подвергают мокрому рассеиву на сите с ячейками 0,14 мм в проточной воде до полного удаления вяжущего.

Отмытые порции песка переносят на чистые взвешенные противни, высушивают до постоянной массы при температуре 105-110 °С и взвешивают.

Содержание песка в верхней (нижней) части уплотненной смеси (%) определяют по формуле:

$$V = \frac{m_1}{m_2} \times 100,$$

где m_1 – масса отмытого высушенного песка из верхней (нижней) части пробы смеси, г;

m_2 – масса растворной смеси, отобранной из верхней (нижней) части пробы смеси, г.

Показатель расслаиваемости растворной смеси (%) определяют по формуле:

$$P = \frac{\Delta V}{\Sigma V} \times 100.$$

где ΔV – абсолютная величина разности между содержанием песка в верхней и нижней частях пробы, %;

ΣV – суммарное содержание песка в верхней и нижней частях пробы, %.

Водоудерживающую способность определяют путем испытания слоя растворной смеси толщиной 12 мм, уложенной на промакательную бумагу. Взвешенные с погрешностью до 0,1 г 10 листов промакательной бумаги укладывают на стеклянную пластинку, сверху кладут марлевую прокладку, на которую устанавливают металлическое кольцо диаметром 100 мм и высотой 12 мм. Прибор в собранном виде взвешивают. Затем кольцо заполняют вровень с краями перемешанной растворной смесью, прибор снова взвешивают и оставляют на 10 мин. По истечении этого времени металлическое кольцо с помощью марлевой прокладки снимают, а промакательную бумагу взвешивают.

Водоудерживающую способность вычисляют по формуле:

$$V = \left(1 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3}\right) \times 100,$$

где m_1 и m_2 – масса промакательной бумаги до и после испытания, г;

m_3 и m_4 – масса прибора в собранном виде без растворной смеси и с растворной смесью, г.

Плотность растворной смеси характеризуется отношением массы уплотненной смеси к ее объему и выражается в кг/м³. Перемешанную растворную смесь укладывают с избытком в стальной цилиндрический сосуд емкостью 1000 см³ и уплотняют сначала 25 штыкованиями стальным стержнем, а затем – 5-6-кратным легким постукиванием о стол. Избыток растворной смеси срезают стальной линейкой, поверхность тщательно выравнивают вровень с краями сосуда, а стенки сосуда очищают от налипшей смеси. Сосуд с смесью взвешивают. Плотность растворной смеси вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m - m_1}{1000},$$

где m и m_1 – масса сосуда с растворной смесью и пустого сосуда, г.

7.7. Контроль физико-механических характеристик растворов

К контролируемым физико-механическим показателям затвердевших растворов относятся:

- предел прочности при сжатии;

- средняя плотность;
- влажность;
- водопоглощение;
- сцепление с основанием;
- морозостойкость.

Обязательному контролю подлежит прочность раствора, а остальные характеристики – только в тех случаях, если они нормируются в проектной или другой документации.

Прочность раствора на сжатие определяют на образцах-кубах размерами 70,7×70,7×70,7 мм в возрасте, установленном в нормативной документации (или проекте) на данный вид раствора. На каждый срок испытания изготавливают не менее трех образцов.

Образцы из растворной смеси с подвижностью до 5 см изготавливают в форме с поддоном, а из смеси с большей подвижностью в формах без поддона. Образцы из смесей на гидравлических вяжущих выдерживают до распалубки в камере нормального хранения при температуре плюс (20±5) °С и относительной влажности воздуха не ниже 95%, а образцы из смесей на воздушных вяжущих – в помещении при температуре (29±2) °С и относительной влажности воздуха (65±5)%.

После освобождения из форм образцы следует до испытания хранить с соблюдением следующих условий:

- образцы из смесей на гидравлических вяжущих в течение первых 3 сут. должны храниться в камере нормального твердения, а оставшееся время до испытания – в помещении с относительной влажностью воздуха (65±10) % (из растворов, твердеющих на воздухе) или в воде (из растворов, твердеющих во влажной среде);
- образцы из смесей, приготовленных на воздушных вяжущих, после распалубки следует хранить в помещении при относительной влажности воздуха (65±1) %.

Предел прочности на сжатие вычисляют для каждого образца с погрешностью до 0,01 МПа по формуле

$$R = \frac{P}{S} \times 10^{-6}.$$

Где Р – разрушающее усилие, Н;

S – площадь расчетного сечения образца, м.

Предел прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое значение результатов всех испытаний.

Среднюю плотность раствора определяют испытанием образцов-кубов с ребром 70,7 мм, изготовленных из растворной смеси. Плотность раствора определяют в состоянии естественной влажности и нормированном влажностном состоянии: сухом, воздушно-сухом, водонасыщенном. Влажностное состояние, при котором требуется контроль плотности раствора, регламентируется нормативной или проектной документацией.

7.8. Сухие строительные смеси

Сухая строительная смесь (ССС) – смесь вяжущего, заполнителя, наполнителя и добавок, при перемешивании с водой образует растворную смесь, способную с течением времени к самопроизвольному затвердеванию с образованием искусственного камня – строительного раствора (СР) различного назначения. Применение моди-

фицирующих добавок в составах ССС позволяет изменять в широких пределах технологические свойства растворных смесей и конструктивно-технические свойства СР.

Принципиальное отличие ССС от традиционных растворных смесей заключается в наличии в их составе комплекса модифицирующих добавок, придающих особые свойства как растворным смесям в процессе применения, так и затвердевшим растворам в процессе эксплуатации: сохранение связности и эластичности во времени даже при нанесении на пористое основание, повышение предела прочности на растяжение и понижение модуля упругости, что обеспечивает повышенную усадочную и температурную трещиностойкость, повышение сцепления с основанием, в том числе пористым.

Свойства сухих смесей характеризуются показателями качества смесей в сухом состоянии; смесей, готовых к применению; затвердевшего раствора.

Основными показателями качества сухих (до смешивания с водой) смесей являются:

- влажность;
- наибольшая крупность зерен заполнителя;
- содержание зерен наибольшей крупности;
- насыпная плотность (при необходимости).

Основными показателями качества смесей, готовых к применению, являются:

- подвижность (кроме клеевых);
- сохраняемость первоначальной подвижности;
- водоудерживающая способность;
- объем вовлеченного воздуха.

Основными показателями качества затвердевшего раствора являются:

- прочность при сжатии (кроме клеевых);
- водопоглощение;
- морозостойкость (кроме смесей для внутренних работ);
- прочность сцепления с основанием;
- водонепроницаемость (для гидроизоляционных смесей);
- истираемость (для напольных смесей);
- морозостойкость контактной зоны (кроме смесей для внутренних ра-

бот).

Для растворов в проектном возрасте установлены следующие марки по прочности при сжатии: М5, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200, М250, М300, а также марки по морозостойкости F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400.

В таблице 7.2 приведены примерные составы сухих смесей различного назначения.

Таблица 7.2

Компоненты	ССС					
	клеи	штукат- урка	шпат- левка	стяж- ка	налив - ные полы	специ- альные
Вязущее	+	+	+	+	+	+
Заполнитель	+	+	-(+)	+	+	(+)
Наполнитель	-	-(+)	+	-	+	(+)
Водоудерживающая добавка	+	+	+	+	+	+
Редиспергируемый порошок	+	+	+	+	+	+
Суперпластификатор	(+)	-	-	+	+	+
Компенсатор усадки	-	(+)	(+)	+	+	+
Гидрофобизатор	-	(+)	(+)	-	-	(+)
Ускоритель	(+)	-(+)	-(+)	(+)	(+)	(+)
Замедлитель	(+)	(+)	(+)	-	-	(+)
Регулятор удобо- укладываемости	(+)	(+)	(+)	-(+)	-(+)	(+)
Прочие	-(+)	-(+)	-(+)	(+)	(+)	(+)

Примечание: + - обязательное применение; (+) –рекомендуемое применение ; - (+) –могут или не могут применяться; - - не следует применять.

В качестве водоудерживающих добавок в составе ССС применяют производные метилцеллюлозы либо эфиры крахмала, которые помимо водоудерживающей способности могут обеспечивать «загущение» смеси, придавая ей связность и эластичность. Дозировка водоудерживающей добавки составляет от 0,05 до 0,4% от массы ССС.

В качестве редиспергируемых порошков используются сополимеры винилацетата. Редиспергируемые порошки придают смесям эластичность и способствуют повышению сцепления с основанием. Дозировка редиспергируемых порошков составляет от 0,8 до 5% массы ССС.

В качестве суперпластификаторов (СП) используют в сухом виде соединения на основе нафталинформальдегида (СП-1, С-3), меламинформальдегида (melment), поликабоксилатов (melflux) и др. Дозировка в зависимости от вида СП и типа ССС составляет от 0,1 до 1,2% массы ССС.

В качестве компенсаторов усадки, как правило, применяют сочетание глиноземистого цемента с гипсовым камнем. Дозировка компенсатора усадки зависит от его вида и типа смеси и составляет от 5% массы ССС.

В качестве гидрофобизаторов используют жирные соли олеиновых кислот (стеараты натрия либо кальция или подобные соединения). Дозировка гидрофобизаторов составляет 0,2-4% массы ССС.

8. ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ НЕОБОЖЖЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Для изготовления гипсовых изделий в основном применяют низкообжиговые гипсовые вяжущие вещества. Получаемые из них изделия характеризуются низкой водостойкостью, поэтому их допускается применять в зданиях с сухим и нормальным влажностным режимом помещений. Эффективным способом увеличения водостойкости гипсовых изделий является применение для их изготовления гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ).

С целью экономии вяжущего и придания изделиям требуемых свойств их изготавливают с добавлением в формовочную смесь минеральных или органических заполнителей. К минеральным заполнителям относятся топливные и металлургические шлаки, песок, искусственные пористые заполнители. В качестве органических заполнителей используют древесные опилки, шерсть и муку, льняные очесы, распушенную бумагу и др.

В производстве гипсовых изделий широко используют добавки, регулирующие скорость твердения гипса. С целью уменьшения плотности изделий в гипсовом тесте добавляют пену и газообразующие добавки.

Технология производства гипсовых изделий состоит из следующих основных операций: дозирование всех составляющих смеси, приготовление гипсобетонной смеси, формование изделий, распалубка отформованных изделий, их сушка.

Существует несколько способов формования гипсовых изделий.

Методом *литья* формуют изделия из гипсовой массы жидкой консистенции при содержании воды в ней до 50-70%. Формовочную массу заливают в формы без какого бы то ни было уплотнения. После схватывания вяжущего изделия извлекают из форм и подвергают сушке. Этот метод применяется при изготовлении штучных изделий (перегородочные плиты, блоки) из чистого гипса или с небольшим количеством заполнителя.

Метод *вибрации* используют, когда изделия формуют из гипсового раствора с небольшим количеством воды. В этом случае общее водосодержание формовочных смесей уменьшается почти в полтора раза, за счет чего существенно повышается прочность изделий.

9. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

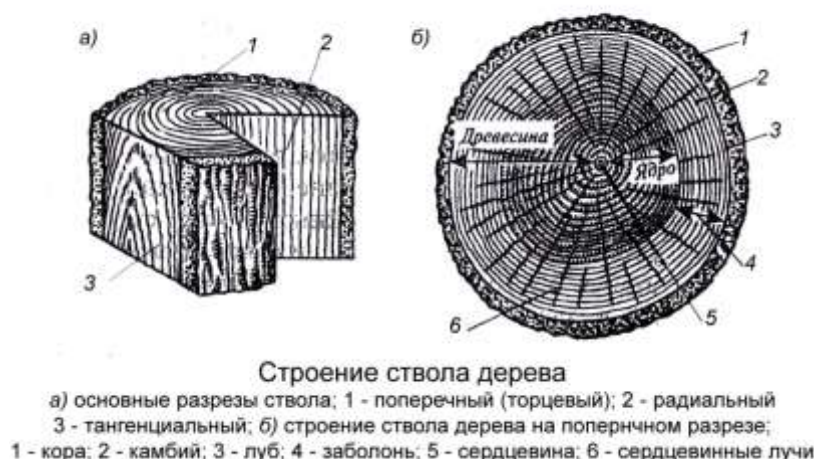
Древесина является природным органическим строительным материалом. В отличие от всех остальных – это возобновляемый и при правильном использовании – неисчерпаемый материал. Популярность древесины как строительного материала обусловлена ее превосходными строительно-техническими свойствами: высокой прочностью при малой плотности, технологичностью в переработке, ценными декоративными качествами, малой тепло- и звукопроводностью. Древесина широко применяется как конструкционный материал, из нее изготавливают оконные и дверные блоки, встроенную мебель, дощатые и паркетные полы.

Повсеместное применение находят изделия, получаемые из отходов переработки и неделовой древесины. Отходы от переработки (горбыль, ветви, стружка, опилки и т.п.) составляют 50-60% перерабатываемой древесины. Путем специальной их переработки из них производят древесно-стружечные и древесно-волокнистые плиты обширной номенклатуры. На предприятиях с современной технологией полезное использование древесины достигает 90-98%.

9.1. Строение древесины

В силу особенностей своего строения древесине присущи ярко выраженные свойства, отличающие ее от других строительных материалов. Строение древесины изучают на двух уровнях: на микро- и макроуровне. На макроуровне изучают строение древесины, видимое невооруженным глазом; на микроуровне – видимое только под микроскопом.

Макростроение древесины изучают в трех плоскостях разреза ствола: поперечном, радиальном и тангенциальном. При этом выделяются следующие элементы макростроения.



Кора состоит из корки, пробковой ткани и луба. Кора и пробковая ткань защищают ствол от механических повреждений атмосферных воздействий (дождь, мороз и т.п.). По лубяному слою проходят питательные вещества от кроны в ствол и в корни.

Камбий, расположенный под лубяным слоем, в вегетативный период в сторону коры откладывает клетки луба, а в внутрь ствола – клетки древесины. В резуль-

тате этого за вегетативный период (от весны до осени) образуются *годовые кольца*. Каждое годовое кольцо состоит из двух слоев – весенней (ранней) и осенней (поздней) древесины, отличающихся по строению. Для ранней древесины характерны светлая окраска, крупные размеры клеток с тонкими стенками. Поздняя древесина имеет более темную окраску и является более плотной и прочной.

Сидцевинные лучи служат для перемещения влаги с питательными веществами в поперечном направлении и создания запаса этих веществ на зимнее время.

Микростроение древесины характеризуется наличием в ней клеток веретенообразной формы, располагающихся вдоль ствола, а также сосудов, по которым перемещается влага с питательными веществами от корней к кроне.

Живая клетка имеет оболочку, состоящую из нескольких слоев очень тонких волокон, которые компактно уложены и направлены по спирали к наклонной ос клетки. Волокна клетки состоят из целлюлозы, представляющей собой высокомолекулярный полимер $(C_6H_{12}O_6)_n$, молекулы которого сильно вытянуты и эластичны.

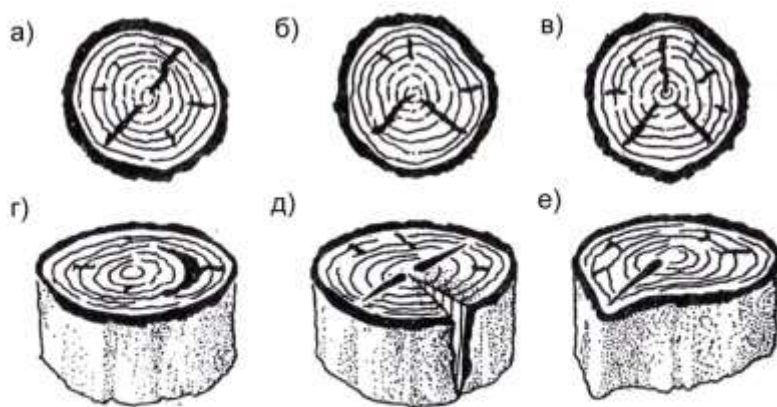
Для строения древесины характерны пороки различного строения. К ним относятся сучки и трещины, пороки формы ствола и строения древесины, а также пороки, вызванные химическими и биологическими процессами.

Сучки – части ветвей, заключенные в стволе. Они нарушают однородность строения древесины, вызывают искривление волокон и затрудняют механическую обработку древесины, так как обладают повышенной плотностью и твердостью. Сучки бывают *сросшиеся*, *несросшиеся* и *выпадающие*.

Трещины ухудшают механические свойства древесины. Они возникают в результате высыхания древесного ствола или замерзания живого дерева. При хранении срубленной древесины образуются трещины усушки в связи с неодинаковым уменьшением объема древесины в радиальном и тангенциальном направлениях.

2.2. Пороки строения древесины

В поперечном срезе ствола можно обнаружить трещины, называемые метиком, отлупом и морозобоиной.



Виды трещин

а) метик простой; б), в) метик несогласный и крестовый; г) отлуп;
д) морозобоина открытая; е) морозобоина закрытая

Метик – это радиальная трещина, расположенная в ядре или заболони и идущая от сердцевины. Метрики бывают простые (две трещины, располагающиеся в диаметральной плоскости), несогласные (две трещины, располагающиеся под углом одна к другой) и крестовые (три радиальные трещины, сходящиеся в центре ствола).

Отлуп – трещина, проходящая между годовыми слоями.

Морозобоины – трещины, образованные в растущем дереве при сильных морозах. Они располагаются радиально и бывают *открытыми и закрытыми*.

Пороки формы ствола – этот вид пороков обусловлен неблагоприятными условиями для роста дерева. К ним относятся *сбежистость, закомелистость, кривизна*.

Сбежистость – это уменьшение диаметра ствола от толстой его части к тонкой, превышающее 1 см на 1 м длины. Сбежистость обуславливает перерезывание ствола и увеличение отхода при распиловке ствола. Из-за ререзывания волокон прочность древесины уменьшается.

Закомелистость выражается в резком увеличении толщины ствола в нижней его части (комле). Этот порок также увеличивает отход древесины при распиловке и ухудшает ее механические свойства.

Кривизна – это искривление ствола по продольной оси. При сильной кривизне бревна могут быть вообще непригодны для распиловки.



К порокам *строения* древесины относятся наклон волокон, крень, свилеватость, двойная сердцевина. Эти пороки также уменьшают выход полезной древесины и ухудшают ее механические свойства, так как при распиловке стволов происходит неизбежное перерезывание волокон.

Пороки, вызванные жизнедеятельностью микроскопических грибов и насекомых. Грибы используют целлюлозу в качестве питательной среды. Размножение грибковых колоний наиболее быстро происходит при температуре от 20 до 40°C и повышенной влажности воздуха. Разрушение древесины грибами называют гниением. Оно может привести к полному разрушению древесины.

Древесина разрушается также насекомыми, питающимися ею и образующими в теле древесины ходы и отверстия, называемые *червоточинами*.

9.3. Физические свойства древесины

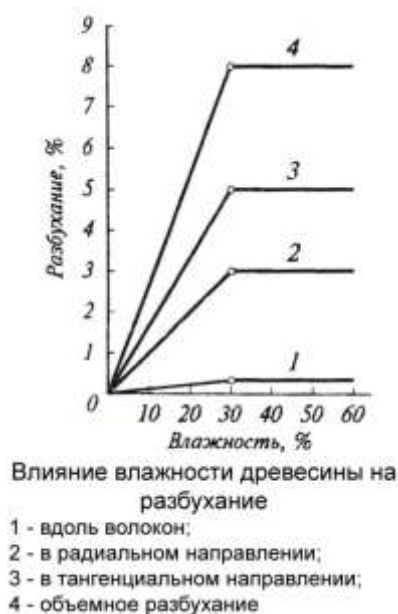
Влажность. В древесине различают влажность гигроскопическую и капиллярную. Гигроскопическая влага находится в стенках клеток, капиллярная – в полостях клеток и в межклеточном пространстве. Предельная гигроскопическая влажность называется *точкой насыщения волокон* и составляет в среднем около 30% по массе. При накоплении гигроскопической влаги древесина набухает, а прочность ее убывает. При испарении этой влаги древесина подвержена усушке (уменьшению объема), а прочность ее восстанавливается. После предельного гигроскопического насыщения стенок клеток при высокой влажности среды или непосредственном контакте с жидкой водой происходит заполнение полостей клеток и межклеточного

пространства. При этом объем древесины и ее прочность остаются практически неизменными.

Свежесрубленная древесина имеет влажность от 40 до 120%. При хранении на воздухе древесина высыхает и достигает равновесной влажности, величина которой зависит от влажности и температуры воздуха. Равновесная влажность комнатно-сухой древесины составляет 8-12%, а воздушно-сухой - 15-18 %.

Поскольку влажность древесины влияет на ее физико-механические свойства при испытании образцов при разной влажности полученные результаты пересчитывают к 12%-ной условно-стандартной влажности.

Усушка и набухание древесины происходит в том случае, когда обезвоживаются или увлажняются стенки клеток, то есть при изменении гигроскопической влажности. Так как древесине присуще анизотропное строение, деформации усушки и набухания ее по различным направлениям различны: вдоль волокон они малы и составляют в среднем 0,1%, в радиальном направлении 3-6%, в тангенциальном – 6-12%. В связи с этим при неравномерном высыхании древесины по объему в ней возникают внутренние напряжения, которые могут вызвать не только коробление изделий, но их растрескивание. Поэтому перед изготовлением изделий заготовки или полуфабрикаты должны быть высушены до той влажности, которая соответствует равновесной влажности в период эксплуатации.



Показателями усушки и набухания древесины являются *коэффициенты линейной и объемной усушки*, показывающие, на сколько процентов изменяются линейные размеры или объем древесины при изменении ее *гигроскопической* влажности на один процент (от нуля до точки насыщения волокон). Коэффициенты линейной усушки определяют только в радиальном и тангенциальном направлениях:

$$K_r = \frac{(l_w^r - l_0^r)}{l_0^r \cdot w} \times 100; \quad K_t = \frac{(l_w^t - l_0^t)}{l_0^t \cdot w} \times 100,$$

где l_w^r и l_0^r - размер образца в радиальном направлении до высушивания и после, мм;

l_w^t и l_0^t - размер образца в тангенциальном направлении до высушивания и после, мм;

w — влажность образца, %.

Коэффициент объемной усушки

$$K_o = \frac{(V_w - V_o)}{V_o \cdot W} \times 100,$$

где V_w и V_o - объем влажного образца и сухого, см³;
 W – влажность образца, %.

Истинная плотность у всех пород одинаковая и равна 1,54 г/см³;

Средняя плотность, определяемая при 12%-ной условно-стандартной влажности, зависит от породы и изменяется у сосны 530 кг/м³, ели 460 кг/м³, лиственницы 680 кг/м³; дуба 720 кг/м³.

Среднюю плотность древесины определяют на образцах размерами 20×20×30 мм. Образцы измеряют, взвешивают, а затем высушивают при температуре плюс (103±2)°С до постоянной массы и снова измеряют. Среднюю плотность во влажном состоянии (до высушивания) определяют по формуле:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}, \text{ а в сухом состоянии по формуле } \rho_o = \frac{m_o}{V_o},$$

где m_w и m_o – масса образца до и после высушивания, г;
 V_w и V_o – объем образца до и после высушивания, см³.

Для пересчета средней плотности, полученной при фактической влажности образца в пределах до точки насыщения волокон, к 12%-ной условно-стандартной плотности пользуются следующей формулой

$$\rho_{12} = \rho_w [1 - 0,01 (1 - K_o) (W - 12)],$$

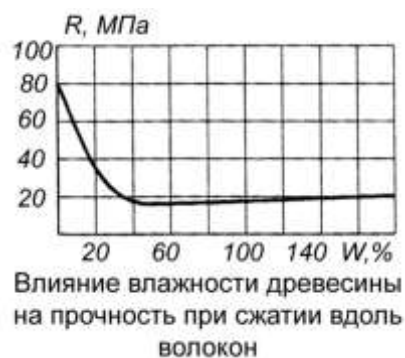
где ρ_w – средняя плотность образца до высушивания, г/см³;
 K_o – коэффициент объемной усушки;
 W – влажность образца, %.

Теплопроводность древесины в сухом состоянии: вдоль волокон 0,34 Вт/м°С, поперек волокон -0,17 Вт/м · °С. Теплопроводность в значительной мере зависит от влажности древесины.

9.4. Механические свойства древесины

Прочность при сжатии древесины определяют в двух направлениях: вдоль волокон и поперек.

Прочность древесины вдоль волокон определяют на образцах сечением 20×20 мм и высотой 30 мм. Образцы перед испытанием выдерживают (кондиционируют) при температуре (20±5)°С и относительной влажности воздуха 65-70% до достижения равновесной влажности.



Испытывают образцы нагружением вдоль волокон до достижения максимального (разрушающего) усилия. После испытания образцы высушивают до постоянной массы и определяют их влажность W .

Полученное значение прочности R_w пересчитывают к 12%-ной влажности R_{12} по формуле:

$$R_{12} = R_w [1 + 0,04(W-12)]$$

Прочность при сжатии поперек волокон определяют на образцах таких же размеров, прикладывая сжимающее усилие перпендикулярно направлению волокон. При испытании образец нагружают ступенями по 400 кгс, измеряя на каждой ступени деформации смятия образца. Затем строят диаграмму $P-\Delta H$. Прочность вычисляют по формуле $R_w^\perp = \frac{P_p}{a \cdot b}$. Разрушающую нагрузку определяют по максимальному усилию на диаграмме.

Прочность древесины при изгибе определяют испытанием нагружением образцов-балочек размерами $20 \times 20 \times 300$ мм. Балочки устанавливают на опоры таким образом, чтобы прикладываемое к ним изгибающее усилие было направлено перпендикулярно годичным слоям.

Предел прочности испытанного образца на изгиб, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_w^u = \frac{3P_{\text{разр}} \times l}{2bh^2},$$

где $P_{\text{разр}}$ - разрушающая нагрузка, кН (кгс);

l - расстояние между опорами, м (см);

b - ширина сечения образца в месте излома, м (см);

h^2 - высота сечения образца в месте излома, м (см).

После испытания из средней части каждой балочки вырезают образцы объемом не менее $10-12 \text{ см}^3$, помещают их в предварительно взвешенные бюксы, взвешивают и высушивают до постоянной массы при температуре $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$, после чего снова взвешивают. Вычисляют влажность и пересчитывают прочность к 12%-ной условно-стандартной влажности по формуле:

$$R_{12}^u = R_w^u [1 + 0,04(W-12)]$$

Прочность на растяжение вдоль волокон определяют на образцах «весьмерках», имеющих размер расчетного сечения 5×20 мм. После определения влажности полученное значение прочности пересчитывают к 12%-ной условно-стандартной влажности по формуле:

$$R_{12}^p = R_w^p [1 + 0,04(W-12)].$$

Прочность при скалывании определяют по напряжениям скалывания вдоль волокон по формуле $R_w^{ск} = \frac{P_{ск}}{F_{ск}}$ и пересчитывают к условнр-стандартной 12%-ной влажности по формуле:

$$R_{12}^{ск} = R_w^{ск} [1 + 0,03(W - 12)]$$

Основные физико-механические свойства некоторых пород древесины
(при влажности 12%)

Порода	Плотность	Прочность, МПа, вдоль волокон при			
		растяжении	сжатии	скалывании	изгибе
Хвойные породы					
Лиственица	660	125	64,5	9,9	111,5
Сосна	500	103,5	48,5	7,5	86
Ель	445	103	44,5	6,9	79,5
Пихта сиб.	375	67	39	6,4	68,5
Лиственные породы					
Дуб	690	123	57,5	10,2	107,5
Береза	630	168	55	9,3	109,5
Бук	670	123	55,5	11,6	108,5
Липа	495	121	45,5	8,6	88
Ольха	520	101	44	8,1	80,5
Осина	495	125,5	42,5	6,3	78

9.5. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми

Древесину защищают от гниения, предварительно обрабатывая ее химическими веществами – **антисептиками**., которые должны обладать высокой токсичностью по отношению к грибам, быть стойкими, должны хорошо проникать в древесину, не иметь неприятного запаха, быть безвредными для человека и домашних животных, не ухудшать физико-механические свойства древесины и не вызвать коррозии металлических соединений деревянных элементов.

Для антисептирования применяют водорастворимые, органикорастворимые и масляные антисептики, а также антисептичекие пасты.

К **водорастворимым** антисептикам относятся фторид натрия, кремнефторид натрия, кремнефторид аммония и специальные препараты ББК-3 (смесь борной кислоты и буры), ХХЦ (смесь хлористого цинка и натриевого или калиевого хромпика), ГР-48 (на основе пентахлорфенола).

Органорастворимые препараты типа ПЛ (растворы пентахлорфенола в легких нефтепродуктах) и типа НМЛ (растворы нафтената меди в легких нефтепродуктах)

Масляные антисептики – каменноугольное масло, антраценовое масло, сланцевое масло и др.

Антисептические пасты приготавливают из водорастворимого антисептика (фторид или кремнефторид натрия), связующего (битума, глины, жидкого стекла и др.) и наполнителя (торфяного порошка).

Способы обработки: поверхностная, пропитка в горячих и холодных ваннах, в автоклавах и обмазкой.

9.6. Защита древесины от поражения насекомыми

Осуществляется путем обработки древесины **инсектицидами**, в качестве которых используют масляные антисептики и препараты на органических растворителях, раствор дихлофоса и др.

9.7. Защита древесины от возгорания

Конструктивная защита – отдаление деревянных частей от источников нагревания и покрытие деревянных конструкций теплоизолирующей штукатуркой, асбестовым картоном, асестоцементными листами.

Химическая защита – пропитка древесины антипиренами, огнезащитное действие которых основано на том, что одни из них создают оплавленную пленку, затрудняющую доступ кислорода к древесине, а другие при высокой температуре выделяют газы, не поддерживающие горение.

9.8. Материалы и изделия из древесины

По способу механической обработки лесоматериалы подразделяются на 6 классов:

- круглые лесоматериалы, получаемые поперечным делением хлыста на отрезки разной длины;
- пиленые, изготавливаемые продольным пилением круглого леса с последующей поперечной распиловкой;
- лущеные, получаемые резанием древесины по спирали (лущением);
- строганные;
- колотые, получаемые продольным разделением древесины клиновидными инструментами;
- измельченные, получаемые переработкой древесины на специальном оборудовании (рубильном, строгальном, размольном).

Круглые лесоматериалы в зависимости от диаметра ствола в верхнем отрубе подразделяются на три сорта:

- мелкие – толщиной от 6 до 13 мм с градацией 1 см;
- средние – толщиной от 14 до 24 см с градацией 2 см;
- крупные – толщиной от 26 см с градацией 2 см.

Круглые лесоматериалы, предназначенные для выработки пиломатериалов и заготовок общего назначения, должны иметь толщину не менее 14 см, длину от 3 до 6,5 м с градацией 0,25 м.

Пиленые лесоматериалы по форме и размерам поперечного сечения подразделяются на доски, бруски, брусья, обапол (горбыльный и дощатый) и шпалы.

К доскам относятся пиломатериалы, ширина которых вдвое превышает их толщину, которая должна быть не более 100 мм; у брусьев ширина и толщина превышает 100 мм; у брусков ширина меньше двойной толщины.

Пиленные материалы бывают обрезные и необрезные. Номинальная длина пиломатериалов для внутреннего рынка и экспорта от 1,0 до 6,5 м с градацией 0,25 м.

Доски бывают строганные, шпунтовые и фальцевые. Фрезерованные : плинтусы, поручни, наличники.

Паркет бывает обыкновенный (планочный) и щитовой. Изготавливается из твердых пород – дуба, бука, ясеня и др.

Щитовой паркет имеет основание из досок или брусьев, на которые наклеены планки.

Столярные изделия – оконные и дверные блоки с вмонтированными в них оконными переплетами и дверными полотнами.

Фанера представляет собой листовой материал, склеенный из трех и более слоев лущеного шпона. Наружные слои шпона называют «рубашками», а внутреннее – «серединками». Обычно фанеру склеивают из листов шпона, расположенных так, чтобы волокна смежных листов шпона были взаимно перпендикулярны.

Лущеный шпон получают на лущильных станках из коротких (до 2 м) бревен, пропаренных или выдержанных в горячей воде. С поверхности бревна, вращающегося вокруг продольной оси, снимается тонкая непрерывная стружка. Фанеру изготавливают из березы, бука, ольхи, клена, ясеня, дуба, сосны, ели, кедра, лиственницы. Пакеты шпона, набранные из промазанных клеем листов, поступают в гидравлический пресс, плиты которого обогреваются паром. Отверждение полимерного клея происходит при температуре 120-160 °С и удельном давлении 1,4-2,0 МПа в течение 20-30 мин.

В зависимости от вида применяемого клея различают фанеру *повышенной водостойкости* (марка ФСФ на фенолформальдегидном клее), *средней водостойкости* (марки ФК и ФБА соответственно на карбамидном и альбумин-казеиновом клее) и *ограниченной водостойкости* (марки ФБ на казеиновом клее).

По виду обработки лицевой поверхности фанера бывает *нешлифованной и шлифованной*.

По числу слоев шпона различают фанеру *трехслойную, пятислойную и многослойную*. Толщина фанеры от 1,5 до 18 мм, размеры листа до 2400*1525 мм.

Бакелизованную фанеру получают из березового шпона, пропитанного и склеенного фенолформальдегидными клеями. Она водостойка, атмосферостойка и имеет прочность на растяжение 60-80 МПа.

Фанерные плиты представляют собой многослойные изделия из шпона, склеенные полимерными клеями; их толщина 8-30 мм и 35-78 мм.

Древесностружечные плиты (ДСП) изготавливают путем горячего прессования специально приготовленных древесных стружек с термореактивными жидкими полимерами. Внутренний слой трехслойных плит состоит из относительно толстых стружек (толщина до 1 мм), наружные слои выполняются из тонких стружек (толщиной до 0,2 мм). В качестве декоративной отделки применяют полимерные пленочные материалы, бумагу, пропитанную смолами или покрывают водостойкими фенольными или эпоксидными лаками. ДСП выпускаются с различной плотностью (г/см³): очень высокой 0,81-1,0; высокой 0,66-0,8; средней 0,51-0,65, малой 0,36-0,5 и очень малой 0,35. Плиты высокой плотности применяют как конструкционный и отделочный материала, а малой плотности – как тепло- и звукоизоляционный материал.

Древесноволокнистые плиты (ДВП) изготавливают путем горячего прессования волокнистой массы, состоящей из древесных волокон, воды, наполнителей, полимера и специальных добавок (антисептиков, антипиренов, гидрофобизирующих ве-

ществ). Формуют ДВП на гидравлических многоэтажных прессах при температуре 150-165 °С под давлением 1-5 МПа (в зависимости от требуемой плотности плит).

Выпускают ДВП пяти видов: *сверх твердые* плотностью более 950 кг/м³ с пределом прочности при изгибе более 50 МПа; *твердые* с плотностью более 850 кг/м³ с прочностью при изгибе до 40 МПа; *полутвердые* плотностью до 400 кг/м³ и прочностью при изгибе до 15 МПа; *изоляционно-отделочные* плотностью 250-350 кг/м³ и прочностью до 2 МПа; *изоляционные* плотностью до 250 кг/м³ и прочностью до 1,2 МПа.

Плиты имеют длину 1200-3600 мм, ширину 1000-1800 мм, толщину 3-8 мм (твердые) и 8-24 мм (изоляционные).

Твердые плиты применяют для устройства перегородок, подшивки потолков, настилки полов, изготовления дверных полотен и встроенной мебели.

Их отделывают синтетической пленкой с прокладкой текстурной бумаги под цвет текстуру древесины ценных пород или покрывают поливинилацетатными красками.

Изоляционные плиты применяют как тепло- и звукоизоляционный материал.