

# БЕТОНЫ



# Общие сведения

*Бетон* на неорганических вяжущих веществах представляет собой *композиционный* материал, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной бетонной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, заполнителей и специальных добавок.

Состав бетонной смеси должен обеспечить бетону к определенному сроку заданные свойства (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и др.).

Бетон является главным строительным материалом, который применяют во всех областях строительства. Технико-экономическими преимуществами бетона и железобетона являются:

- низкий уровень затрат на изготовление конструкций в связи с применением местного сырья,
- возможность применения в сборных и монолитных конструкциях различного вида и назначения,
- механизация и автоматизация приготовления бетона и производства конструкций.

- бетонная смесь при надлежащей обработке позволяет изготавливать конструкции оптимальной формы с точки зрения строительной механики и архитектуры;
- бетон долговечен и огнестоек, его плотность, прочность и другие характеристики можно изменять в широких пределах и получать материал с заданными свойствами;
- недостатком бетона, как любого каменного материала, является низкая прочность на растяжение, которая в 10-15 раз ниже прочности на сжатие.

Этот недостаток устраняется в железобетоне, когда растягивающие напряжения воспринимает арматура.

Близость коэффициентов температурного расширения и прочное сцепление обеспечивает совместную работу бетона и стальной арматуры в железобетоне, как единого целого.

# Тяжелый бетон

## *Материалы для изготовления бетона*

**Цемент.** Для тяжелого бетона применяют портландцемент и его разновидности, глиноземистый цемент и другие вяжущие, отвечающие требованиям соответствующих ГОСТов.

**Мелкий заполнитель.** В качестве мелкого заполнителя в тяжелом бетоне применяют песок, состоящий из зерен размером 0,16-5 мм и имеющий плотность более 1,8 г/см<sup>3</sup>. Качество песка, применяемого для изготовления бетона, определяется минеральным составом, зерновым составом и содержанием вредных примесей.

**Крупный заполнитель.** В качестве крупного заполнителя для бетона применяют гравий, щебень с размером зерен 5-70 мм. Качество крупного заполнителя определяется минеральным составом и свойствами исходной породы (ее прочностью, морозоустойчивостью).

**Вода,** применяемая для затворения бетонной смеси и поливки бетона не должна содержать вредных примесей, препятствующих схватыванию и твердению вяжущего вещества.

# Мелкий заполнитель

- Для приготовления тяжелых бетонов применяют природные пески, образовавшиеся в результате естественного разрушения скальных горных пород, получаемые при разработке песчаных или песчано-гравийных месторождений без использования или с использованием специального обоганительного оборудования, а также искусственные, полученные путем дробления твердых горных пород и из отсеков.
- Природные пески представляют рыхлую смесь зерен различных минералов, входивших в состав изверженных (реже осадочных) горных пород (кварца, полевого шпата, кальцита, слюды).

- **Песок обогащенный** – природный неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, с улучшенным зерновым составом и меньшим содержанием пылевидных и глинистых частиц, полученный с использованием специального оборудования.
- **Песок фракционированный** - природный неорганический сыпучий материал, разделенный на две или более фракций с использованием специального оборудования.

- **Природные пески** и смеси природных песков и песков из отсевов дробления предназначены для применения в качестве заполнителей тяжелых, легких, мелкозернистых, ячеистых и силикатных бетонов, строительных растворов, сухих строительных смесей, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и оснований взлетно-посадочных полос и перронов аэродромов, обочин дорог, производства кровельных и керамических материалов, благоустройства и планировки территорий.

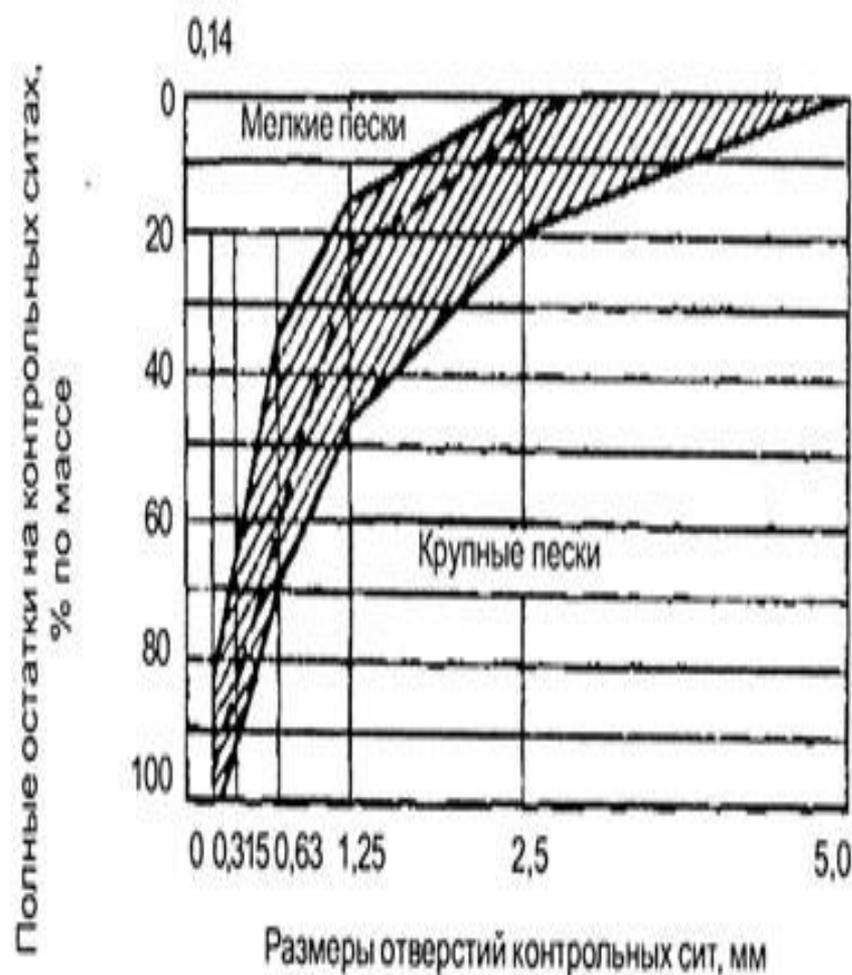
- Качество песка, применяемого для изготовления бетона, определяется минеральным составом, зерновым составом и содержанием вредных примесей.
- Заполнитель должен состоять из зерен разного размера (разных фракций), при этом количество крупных, средних и мелких зерен (т.е. зерновой состав заполнителя) устанавливается таким образом, чтобы зерна меньшего размера располагались в пустотах между крупными. Чем компактнее расположены зерна заполнителей, тем меньше объем пустот.

- При приемочном контроле на предприятии-изготовителе отбирают точечные пробы, из которых путем смешивания получают одну объединенную пробу от сменной продукции каждой технологической линии.
- Для проверки качества песка, отгружаемого непосредственно в карьере, точечные пробы отбирают в процессе погрузки в транспортные средства.
- Точечные пробы для получения объединенной пробы начинают отбирать через 1 час после начала смены и далее отбирают через каждый час в течение смены.

- Объединенную пробу перемешивают и перед отправкой в лабораторию сокращают методом квартования или при помощи желобчатого делителя для получения лабораторной пробы.
- При проведении периодических испытаний, а также при входном контроле и при определении свойств песка при геологической разведке масса лабораторной пробы должна обеспечивать проведение всех предусмотренных стандартом испытаний.
- Для каждого испытания из лабораторной пробы отбирают аналитическую пробу. Из аналитической пробы отбирают навески в соответствии с методикой испытаний.

- На каждую лабораторную пробу, предназначенную для периодических испытаний в центральной лаборатории объединения или в специализированной лаборатории, а также для арбитражных испытаний составляют акт отбора проб, включающий наименование и обозначение материала, место и дату отбора пробы, наименование предприятия-изготовителя, обозначение пробы и подпись ответственного за отбор пробы лица.
- Отобранные пробы упаковывают таким образом, чтобы масса и свойства материалов не изменялись до проведения испытаний.
- При транспортировании должна быть обеспечена сохранность упаковки от механического повреждения и намокания.

- Зерновой (гранулометрический) состав песка определяют просеиванием высушенной средней пробы (1000 г) через стандартный набор сит с размерами отверстий 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм. Мелкие частицы песка (пыль) имеют размер менее 0,16 мм.
- Сначала вычисляют частный остаток на каждом сите (%), как отношение массы остатка к массе просеиваемой пробы.
- Затем определяют полный остаток (%) на каждом сите как отношение массы остатка к массе просеиваемой пробы.
- Определяют полный остаток (%) на каждом сите как сумму частных остатков на данном сите и на всех ситах крупнее данного.



$$M_k = \frac{(A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16})}{100}$$

- Для оценки крупности песка применяют безразмерный показатель – модуль крупности, который вычисляют как отношение суммы полных остатков на ситах, ко всей пробе, принятой за 100.
- В зависимости от зернового состава песок разделяют на группы:

Группа песка	Модуль крупности $M_k$
Очень крупный	Свыше 3,5
Повышенной крупности	От 3,0 до 3,5
Крупный	От 2,5 до 3,0
Средний	От 2,0 до 2,5
Мелкий	От 1,5 до 2,0
Очень мелкий	От 1,0 до 1,5
Тонкий	От 0,7 до 1,0
Очень тонкий	До 0,7

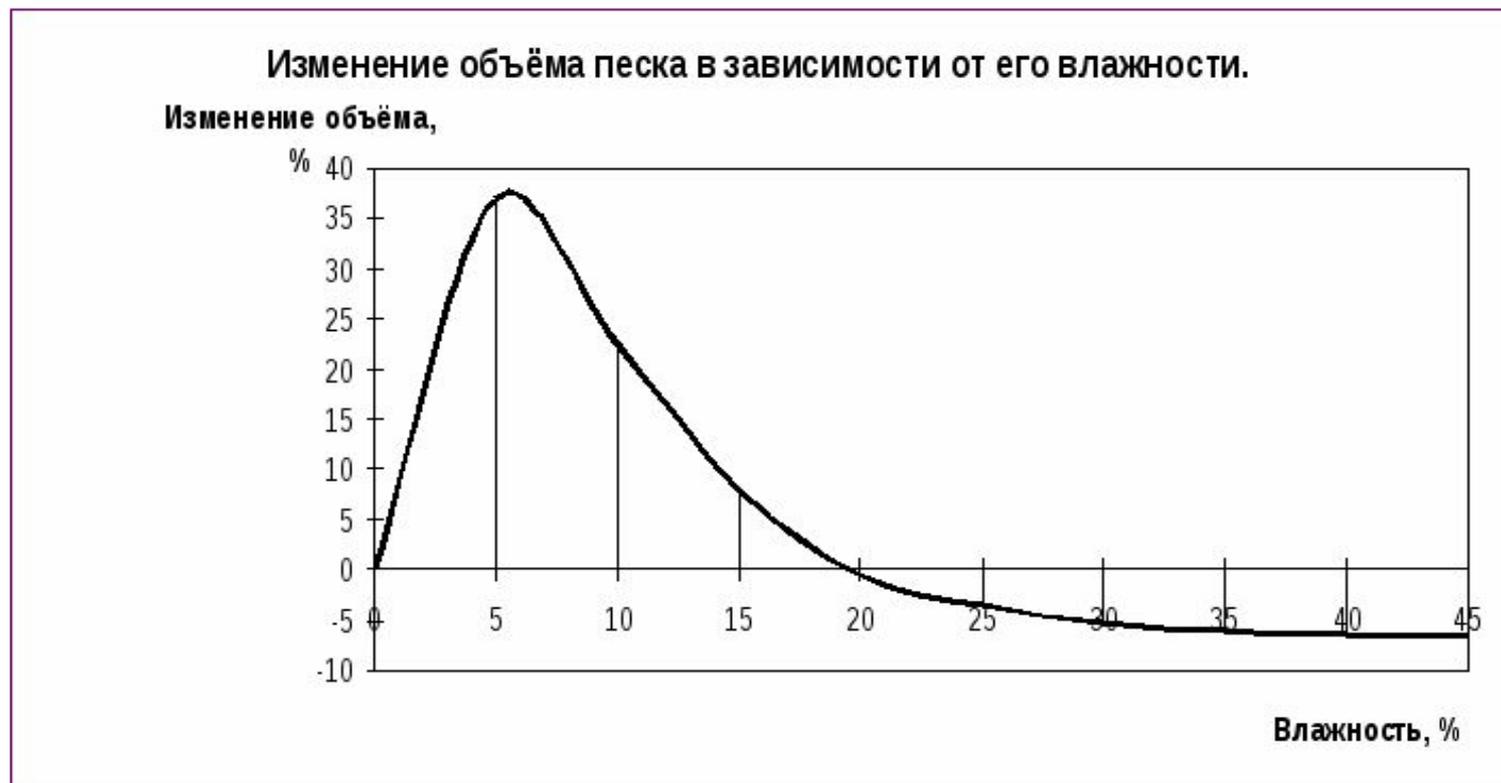
- Мелкие частицы (пыль, ил, глина) увеличивают водопотребность бетонных смесей и расход цемента в бетоне. Поэтому содержание в песке зерен менее 0,16 мм должно быть не более 10% по массе.
- При этом количество пылевидных, глинистых и илистых частиц, определяемых отмучиванием, не должно превышать 3%.
- Глина набухает при увлажнении и увеличивается в объеме при замерзании, снижая морозостойкость. Поэтому содержание глины в песке строго ограничивается, также в песке не должно быть глины в комках и суглинка.

- Наличие **органических примесей** (гумусовых) веществ определяют сравнением окраски щелочного раствора над пробой песка с окраской эталона.
- Из аналитической пробы песка в состоянии естественной влажности берут навеску около 250 г.
- Приготавливают эталонный раствор, растворяя раствор танина в растворе гидроксида натрия. Приготовленный раствор оставляют на 24 ч.
- Песком заполняют мерный цилиндр до уровня 130 см<sup>3</sup> и заливают его 3%-ным раствором гидроксида натрия до уровня 200 см<sup>3</sup>. Содержимое цилиндра перемешивают и оставляют на 24 ч, повторив перемешивание через 4 часа после первого перемешивания.

- Затем сравнивают окраску жидкости, отстоявшейся над пробой, с цветом эталонного раствора или стеклом, цвет которого идентичен цвету эталонного раствора.
- Песок пригоден для использования в бетонах или растворах, если жидкость над пробой бесцветна или окрашена значительно слабее эталонного раствора
- При окраске жидкости одинаковой или более темной, чем цвет эталонного раствора, необходимо провести испытания заполнителя в бетонах или растворах в специализированных лабораториях.

- **Истинную плотность** определяют путем измерения массы единицы объема высушенных зерен песка с использованием прибора Ле-Шателье.
- Из аналитической пробы берут около 200 г песка, просеивают его через сито с отверстиями диаметром 5 мм, насыпают в стаканчик для взвешивания, высушивают до постоянной массы и охлаждают до комнатной температуры.
- Прибор наполняют водой до нижней нулевой риски, уровень воды определяют по нижнему мениску. Навеску песка всыпают через воронку прибора небольшими равномерными порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе, определенный по нижнему мениску, не поднимется до деления в пределах верхней градуированной части прибора.

- Песок отличается от крупного заполнителя способностью сильно изменять плотность и объем при изменении влажности от 0 до 20% , что учитывается при объемной дозировке (при приготовлении растворных и бетонных смесей) и приемке песка



- ГОСТом устанавливается допустимое содержание вредных компонентов и примесей, к которым относятся:
- - аморфные разновидности диоксида кремния, растворимого в щелочах;
- - сера, сульфиды, сульфаты;
- - галоидные соединения, включающие в себя водорастворимые хлориды;
- - уголь;
- - органические примеси (гумусовые кислоты) – менее количества, придающего раствору гидроксида натрия окраску, соответствующую цвету эталона или темнее этого цвета. Использование песка, не отвечающего этому требованию, допускается только после получения положительных результатов испытаний песка в бетоне или растворе на характеристики долговечности.

# Крупный заполнитель

- В качестве крупного заполнителя для бетона применяют гравий, щебень с размером зерен 5-70 мм. При бетонировании массивных конструкций можно применять щебень с крупностью до 150 мм.
- Зерна гравия имеют окатанную форму и гладкую поверхность. Обычно гравий содержит в том или ином количестве песок, а также вредные примеси – глину, пыль, органические примеси (продукты разложения растений), гумусовые кислоты, которые понижают прочность бетона и даже разрушают цемент.

- Щебень получают дроблением изверженных, метаморфических, плотных и водостойких осадочных горных (плотных известняков, песчаников и др.).
- Зерна щебня имеют угловатую форму; желательно, чтобы по форме они приближались к кубу.
- Более шероховатая, чем у гравия, поверхность зерен способствует лучшему их сцеплению с цементным камнем, поэтому для бетона высокой прочности обычно применяют щебень, а не гравий.

• Качество крупного заполнителя определяется:

✓ минеральным составом;

✓ прочностью

✓ морозостойкостью исходной породы;

✓ зерновым составом;

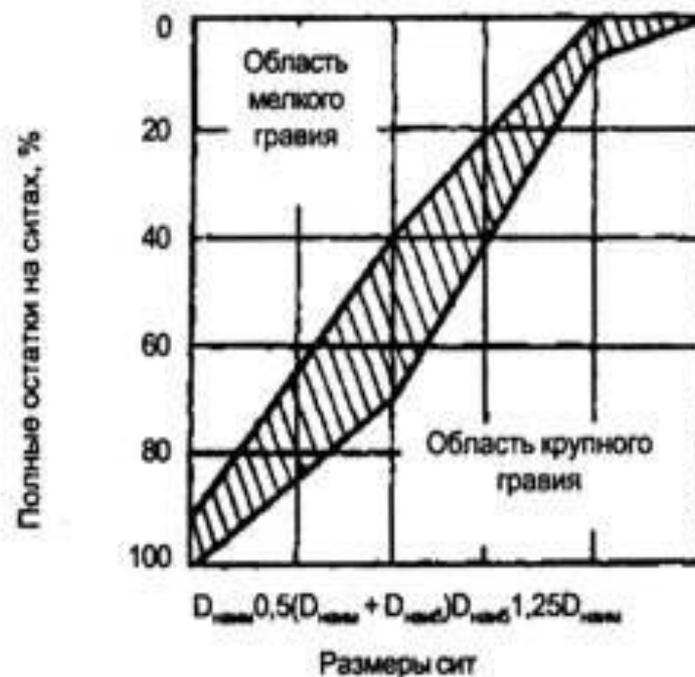
✓ формой зерен;

✓ содержанием вредных примесей.

• Прочность исходной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии должна не менее чем в 1,5-2 раза превышать прочность бетона.

- **Зерновой состав** крупного заполнителя устанавливают с учетом наибольшего ( $D$ ) наименьшего ( $d$ ) размеров зерен щебня или гравия.
- Наименьшая крупность соответствует размеру отверстия самого мелкого из сит, через которое проходит не более 5% просеиваемой пробы.
- В зависимости от крупности зерен щебень и гравий подразделяют на четыре фракции:
  - ❖ 5-10 мм,
  - ❖ 10-20 мм,
  - ❖ 20-40 мм,
  - ❖ 40-70 мм.
- Также щебень и гравий могут поставлять в виде смеси двух или большего числа фракций.

- Результаты просеивания обычно наносят на график, где по горизонтали указаны размеры отверстий сит, по вертикали откладывают полные остатки на ситах.
- Графики зернового состава должны располагаться в пределах заштрихованной части.



- В зависимости от формы зерен устанавливается три группы щебня из натурального камня:
  - кубовидная,
  - улучшенная,
  - обычная.
- Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в них не превышает соответственно – 15, 25 и 35% по массе.
- К пластинчатым и игловатым зернам относят такие, в которых толщина или ширина меньше длины в 3 и более раза.
- Соотношение размеров зерен определяют при помощи передвижного шаблона или штангенциркуля. При использовании шаблона зерно вкладывают наибольшим размером между губками, измеряют размер зерна, затем зерно пропускают наименьшим размером между губками шаблона, установленными на расстоянии в три раза меньшем
- Если зерно проходит между губками, то его относят к зернам пластинчатой или игловатой формы.



- **Содержание пылевидных и илистых частиц** допускается в зависимости от вида исходной горной породы и марки щебня по прочности.
- Количество пылевидных, глинистых и илистых частиц, определяемое отмучиванием, допускается не более 1%.
- **Содержание органических примесей** в крупном заполнителе определяют, пользуясь той же методикой, которая применяется для песка. Гравий и щебень при обработке водным раствором едкого натра не должны придавать раствору окраску темнее эталона.
- **Радиационно-гигиеническая оценка** мелкого и крупного заполнителя должна проверяться постоянно на содержание естественных радионуклеидов.

- **Реакционная способность** горной породы, щебня, гравия характеризуется наличием минералов, содержащих растворимый в щелочах кремнезем. Реакционную способность определяют:
  - минералого-петрографическим методом – на стадии разведки месторождения и для оценки горных пород и щебня для использования их в качестве сырья для производства заполнителей для бетонов, при этом определяют наличие потенциально реакционноспособных пород минералов;
  - химическим методом – для оценки количественного содержания в породах и минералах растворимого в щелочах кремнезема;
  - ускоренным методом с измерением деформаций бетонов – для определения возможности проявления щелочной коррозии бетонов в случае, когда количественное содержание растворимого в щелочах кремнезема превышает установленные нормативные значения;
  - непосредственным испытанием образцов бетонов – для определения возможности проявления щелочной коррозии бетона в случае, когда относительные деформации расширения образцов бетона, определенные ускоренным методом, превышают установленные значения.

- **Морозостойкость щебня** определяют по потере массы пробы при попеременном замораживании и оттаивании.
- При ускоренном методе определения морозостойкости пробу щебня погружают в насыщенный раствор сульфата натрия и впоследствии высушивают, морозостойкость определяют по потере массы пробы.
- К **механическим свойствам**, определяемым при испытании щебня и гравия относятся:
  - дробимость;
  - истираемость в полочном барабане;
  - сопротивление удару на копре.

- При определении марки по дробимости щебня (гравия) применяют цилиндр диаметром 150 мм. пробу щебня (гравия) насыпают в цилиндр с высоты 50 мм так, чтобы после разравнивания верхний уровень материала примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра.
- Затем в цилиндр вставляют плунжер так, чтобы плита плунжера была на уровне верхнего края цилиндра.
- После этого цилиндр помещают на нижнюю плиту пресса.
- Увеличивая силу нажатия пресса на 1-2 кН в секунду, доводят ее до 200 кН.
- После сжатия испытываемую пробу высыпаю из цилиндра и взвешивают.

- Затем ее просеивают в зависимости от размера испытываемой фракции через сито с отверстиями размером:
- 1,25 мм – для щебня (гравия) размером фракции от 5 до 10 мм;
- 2,5 мм - для щебня (гравия) размером фракции от 10 до 20 мм;
- 5,0 мм - для щебня (гравия) размером фракции от 20 до 40 мм.
- Остаток щебня (гравия) на сите после просеивания взвешивают и определяют потерю по массе.
- Различают марки по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород: 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200.
- Марки по дробимости щебня их изверженных пород: 600, 800, 1000, 1200, 1400.

- При определении марки по истираемости в полочном барабане подготовленную пробу загружают в барабан вместе с чугунными или стальными шарами, закрепляют крышку и приводят барабан во вращение со скоростью 30-33 об/мин.
- В зависимости от размера фракции щебня (гравия) используют необходимое количество чугунных или стальных шаров, при этом ГОСТом установлено число оборотов полочного барабана, необходимое для испытания пробы.
- Истираемость щебня определяют по потере массы в процентах, при просеивании пробы щебня на сите с отверстиями диаметром 5 мм и контрольном сите.

- Также ГОСТом предусматривается проведение следующих испытаний:
- - определение содержания дробленых зерен в щебне из гравия;
- - определение содержания глины в комках;
- - определение содержания зерен слабых пород в щебне или гравии;
- - определение минералого-петрографического состава;
- - определение наличия органических примесей;
- - определение насыпной плотности и пустотности;
- - определение средней плотности и пористости горной породы и зерен щебня (гравия);
- - определение водопоглощения горной породы и щебня (гравия);
- - определение предела прочности при сжатии горной породы;
- - определение устойчивости структуры щебня (гравия) против распадов.

- **Водопотребность** является важной технологической характеристикой заполнителя.
- Зерна заполнителя поглощают воду и адсорбируют ее на своей поверхности, поэтому необходимо регулировать количество воды затворения с учетом «смачивания» заполнителя, чтобы получить нужную удобоукладываемость бетонной смеси.
- **Вода**, применяемая для затворения бетонной смеси и поливки бетона, не должна содержать вредных примесей, препятствующих схватыванию и твердению вяжущего вещества.
- Для затворения бетонной смеси применяют водопроводную питьевую воду, а также природную воду (рек, естественных водоемов), имеющую водородный показатель рН не менее 4, не содержащую сульфатов, ограниченную в количестве минеральных солей.
- Не допускается применять болотные, а также сточные, бытовые и промышленные воды без их очистки.

# Классификации бетонов

По **виду вяжущего** бетоны разделяют на:

- *Цементные* – приготавливают на различных цементах (наиболее распространенные); среди них основное место занимают бетоны на портландцементе и его разновидностях, применяемые для различных видов конструкций и условий их эксплуатации, используются бетоны на шлакопортландцементе и пуццолановом цементе.

К разновидностям цементных бетонов относятся:

- декоративные бетоны, изготавливаемые на белом и цветных цементах;
- бетоны для самонапряженных конструкций – на напрягающем цементе;
- бетоны для специальных целей, получаемые на особых видах цемента – глиноземистом, безусадочном и т.д.
- *Силикатные* – готовят на основе извести (известково-кремнеземистые); для производства изделий применяют автоклавный способ твердения.

# Классификации бетонов

- *Гипсовые* – применяют для внутренних перегородок, подвесных потолков и элементов отделки зданий. Разновидностью этих бетонов являются гипсоцементнопуццолановые бетоны, обладающие повышенной водостойкостью и более широкой областью применения (объемные блоки санузлов, конструкции малоэтажных домов и др.).
- *Смешанные* (цементно-известковые, известково-шлаковые);
- *Шлакощелочные бетоны* – изготавливают на молотых шлаках, затворенных щелочными растворами.
- *Специальные* – применяют при наличии особых требований (жаростойкости, химической стойкости и др.) и используют особые вяжущие вещества. Для кислотоупорных и жаростойких бетонов применяют жидкое стекло, магнезиальное и другие связующие. В качестве специальных вяжущих используют шлаковые, нефелиновые, стеклощелочные и др., полученные из отходов промышленности, что имеет важное значение для экономии цемента и охраны окружающей среды.

# Классификации бетонов

- *Полимербетоны* изготавливают на различных видах полимерного связующего, основу которого составляют смолы (полиэфирные, эпоксидные, акриловые и др.) или мономеры, отверждаемые в бетоне с помощью специальных добавок. Эти бетоны более пригодны для службы в агрессивных средах и особых условиях воздействия (например, истирание).
- *Полимерцементные бетоны* изготавливают на смешанном связующем, состоящем из цемента и полимерного вещества. В качестве полимера используют, например, водорастворимые смолы и латексы.

Свойства бетонов на неорганических вяжущих можно улучшать путем пропитки мономерами с последующим их отверждением в порах и капиллярах бетона. Такие материалы называют *бетонополимерами*.

# Классификации бетонов

По виду заполнителя различают бетоны на:

- плотных;
- пористых;
- специальных заполнителях, удовлетворяющих специальным требованиям (защиты от излучений, жаростойкости, химической стойкости и т.п.).

В зависимости от **плотности** различают бетоны:

- особо тяжелые – плотностью более  $2500\text{кг}/\text{м}^3$ , изготавливаемых на особо тяжелых заполнителях (из магнетита, барита); эти бетоны применяют для специальных защитных конструкций;
- тяжелые – плотностью  $2200\text{-}2500\text{кг}/\text{м}^3$  на песке, гравии или щебне из тяжелых горных пород; применяют во всех несущих конструкциях;
- облегченные - плотностью  $1800\text{-}2200\text{кг}/\text{м}^3$  ; их применяют преимущественно в несущих конструкциях;
- легкие - плотностью  $500\text{-}1800\text{кг}/\text{м}^3$ ; к ним относятся:
  1. легкие бетоны на пористых природных и искусственных заполнителях;
  2. ячеистые бетоны (газобетон и пенобетон) из смеси вяжущего, воды, тонкодисперсного кремнеземистого компонента и порообразователя;
  3. крупнопористые (беспесчаные) бетоны на плотном или пористом крупном заполнителе – без мелкого заполнителя;
- особо легкие (ячеистые и на пористых заполнителях - плотностью менее  $500\text{кг}/\text{м}^3$  , используемые в качестве теплоизоляции.

## Свойства бетонной смеси

**Бетонной смесью** называют рационально составленную и тщательно перемешанную смесь компонентов бетона до начала процессов схватывания и твердения. Состав бетонной смеси определяют, исходя из требований к самой смеси и к бетону.

В процессе изготовления и твердения бетона можно выделить два периода, когда материал характеризуется различными свойствами и состоянием:

- 1) До схватывания цемента и превращения бетона в твердое тело – **бетонная смесь** и
- 2) Период твердения и эксплуатации материала, обладающего всеми свойствами твердого тела – **бетон**.

Вследствие наличия внутренних сил взаимодействия между частицами твердой фазы и воды бетонная смесь приобретает связанность и определенные свойства, характерные для структурированных вязких жидкостей.

По своим свойствам бетонные смеси занимают промежуточное положение между вязкими жидкостями и твердыми телами.

От истинно вязких жидкостей они отличаются наличием некоторой прочности структуры или структурной вязкостью, возникающей благодаря силам вязкого трения; от твердых тел – отсутствием достаточной упругости формы и способностью к значительным необратимым пластическим деформациям течения даже при незначительных нагрузках.

Свойства бетонных смесей зависят от их структуры и свойств составляющих и обладают рядом особенностей, из которых существенное значение имеют:

- Способность смеси как бы псевдоразжижаться или становиться более подвижной под влиянием механических воздействий;
- Постоянное изменение свойств (потеря подвижности) под влиянием физико-химических процессов взаимодействия цемента и воды вплоть до схватывания системы и превращения в твердое тело.

Свойства бетонных смесей и их поведение в процессе приготовления, укладки и уплотнения определяются характером и значением сил, действующих между частицами твердой фазы и жидкостью (вода с растворенными в ней веществами, появляющимися в процессе гидратации или введенными в смесь).

Взаимодействие между твердыми частицами в бетонной смеси определяется наличием жидкой среды: только при добавлении к сухой смеси цемента и заполнителя воды эта смесь приобретает структуру и свойства, присущие бетонной смеси. Силы взаимодействия между твердыми частицами бетонной смеси имеют разную физическую природу и зависят как от размеров частиц, так и от объема жидкой фазы, ее природы, наличия в ней ионов других веществ, величины поверхностного натяжения.

Зерна песка и щебня и пустоты между ними достаточно велики, удельная поверхность мала, и поэтому действие поверхностных сил практически ничтожно. Смесь не имеет связанности, вода под действием гравитационных сил вытекает из пустот между зернами заполнителя. При приложении внешних сил в такой смеси появляются механические силы внутреннего трения.

С уменьшением размера частиц возникают капиллярные силы. Смесь приобретает связанность. Капиллярные силы действуют при отсутствии лишнего количества воды, в местах контакта твердых частиц, в то время как поры между частицами заполнены воздухом.

Действие сил поверхностного натяжения обеспечивает сцепление между частицами. Смесь имеет, как правило, жесткую консистенцию.

**Общие требования ко всем бетонам и бетонным смесям следующие:**

- до затвердевания бетонные смеси должны легко перемешиваться, транспортироваться, укладываться, не расслаиваться;
- бетоны должны иметь определенную скорость твердения в соответствии с заданными сроками распалубки и ввода конструкции или сооружения в эксплуатацию;
- по возможности расход цемента и стоимость бетона должны быть минимальными.

Получить бетон, удовлетворяющий всем поставленным требованиям, можно при правильном проектировании состава бетона, надлежащем приготовлении, укладке и уплотнении бетонной смеси, а также при правильном хранении бетона в начальный период его твердения.

Основной структурообразующей составляющей в бетонной смеси является цементное тесто.

Структура цементного теста с момента затворения водой находится в постоянном изменении. Эти изменения вызываются как внешними силами, действующими при перемешивании и уплотнении бетонной смеси, так и внутренними физико-химическими процессами, в первую очередь гидратацией цемента.

При гидратации цемента образуются новообразования с высокой удельной поверхностью. На поверхности цементных зерен появляется переходный слой, активно взаимодействующий с водой, удельная поверхность твердой фазы увеличивается. В результате возрастает количество связанной воды, а подвижность бетонной смеси уменьшается.

Независимо от вида бетонная смесь должна удовлетворять двум главным требованиям:

- обладать хорошей удобоукладываемостью, соответствующей применяемому способу уплотнения;
- сохранять при транспортировании и укладке однородность, достигнутую при приготовлении.

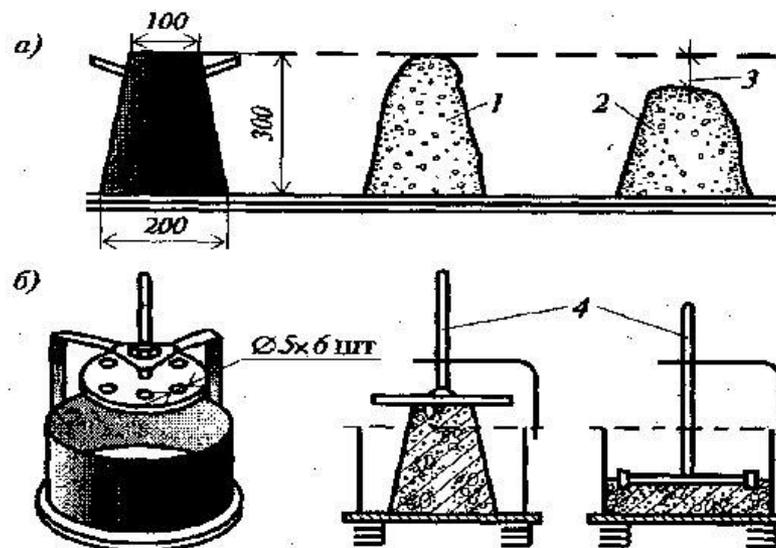
**Удобоукладываемость** (или удобоформуемость) самое важное свойство бетонной смеси – способность заполнять форму при данном способе уплотнения, сохраняя свою однородность. Для оценки удобоукладываемости используют три показателя:

1. Подвижность бетонной смеси.
2. Жесткость.
3. Связность.

**Подвижность** бетонной смеси характеризуется измеряемой осадкой (см) конуса (ОК), отформованного из бетонной смеси, подлежащей испытанию.

**Жесткость** бетонной смеси характеризуется временем (с) вибрирования, необходимым для выравнивания и уплотнения.

**Связность** обуславливает однородность строения и свойств бетона. При уплотнении подвижных бетонных смесей происходит сближение составляющих ее зерен, при этом часть воды отжимается вверх. Очень важно сохранить однородность бетонной смеси при перевозке, укладке в форму и уплотнении.



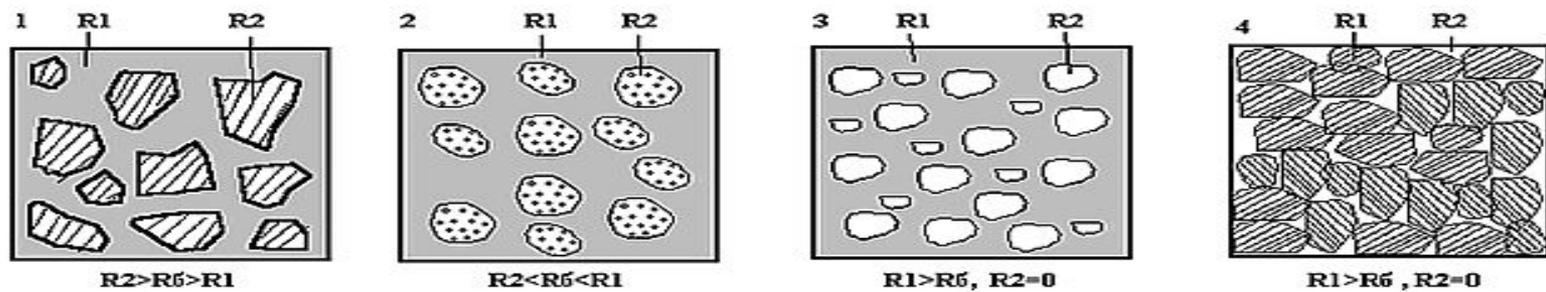
# Классификация бетонных смесей

## Норма удобоукладываемости

Марка по удобоукладываемости	Жесткость, с	Подвижность, см	
		Осадка конуса	Распływ конуса
<b>Сверхжесткие смеси</b>			
СЖ 3	Более 100	-	-
СЖ2	51-100	-	-
СЖ1	50 и менее	-	-
<b>Жесткие смеси</b>			
Ж4	31-60	-	-
Ж3	21-30	-	-
Ж2	11-20	-	-
Ж1	5-10	-	-
<b>Подвижные смеси</b>			
П1	4 и менее	1-4	-
П2	-	5-9	-
П3	-	10-15	-
П4	-	16-20	26-30
П5	-	21 и более	31 и более

- *Количество воды затворения* является основным фактором, определяющим удобоукладываемость бетонной смеси.
- Вода затворения ( $V$ , кг/м<sup>3</sup>) распределяется между цементным тестом ( $V_{\text{ц}}$ ) и заполнителем ( $V_{\text{зап}}$ ):  $V = V_{\text{ц}} + V_{\text{зап}}$ . Количество воды в цементном тесте определяют его реологические свойства, а следовательно, и технические свойства бетонной смеси – подвижность и жесткость.
- Для обеспечения требуемой прочности бетона величина водоцементного отношения должна сохраняться постоянной, поэтому возрастание водопотребности вызывает перерасход цемента. При мелких песках он достигает 15-25%, поэтому мелкие пески следует применять после обогащения крупным природным или дробленным песком и с пластифицирующими добавками, снижающими водопотребность.

- Количество воды затворения определяют, исходя из требуемых показателей удобоукладываемости, пользуясь таблицами и графиками, составленными на основании практических данных с учетом вида и крупности заполнителя.
- Удобоукладываемость бетонной смеси зависит как от вязкости, так и от объема вяжущего вещества.
- Водопотребность заполнителя является его важной технологической характеристикой; она возрастает с увеличением суммарной поверхности зерен заполнителя и поэтому велика у мелких песков.



### Основные типы макроструктуры бетона

1- плотная; 2- плотная с пористым заполнителем; 3- ячеистая; 4- зернистая;  
 $R_6$ -средняя прочность структуры,  $R_1$  и  $R_2$  - прочности составляющих бетона

- В подвижной бетонной смеси плотной структуры цементное тесто заполняет пустоты в заполнителе и образует смазочные слои по поверхности его зерен, снижающие внутренние напряжения.
- Если в бетонной смеси цементным раствором заполнить только пустоты между зернами крупного заполнителя, то получится очень жесткая бетонная смесь.
- Для придания подвижности необходимо раздвинуть зерна крупного заполнителя и окружить их оболочкой из растворной смеси, которая играет роль смазки, скрепляющей зерна после затвердевания.

## Подбор состава тяжелого бетона

Подбор состава бетона производят с целью получения бетона с требуемыми качественными показателями, установленными в проектной документации на изделия или конструкции, при минимальном расходе цемента или другого вяжущего.

Состав бетона подбирают на средний уровень прочности бетона, устанавливаемый в соответствии с фактической его однородностью по прочности на сжатие, растяжение или растяжение при изгибе.

Подбор состава бетона включает в себя определение номинального состава, расчет и передачу в производство рабочего состава.

*Номинальный состав бетона* определяют в следующей последовательности:

- устанавливают характеристики исходных материалов;
- производят расчет начального и дополнительных составов бетона;
- делают пробные замесы всех составов с корректировкой удобоукладываемости бетонной смеси;
- изготавливают и испытывают образцы бетона по всем требуемым показателям качества;
- обрабатывают полученные результаты и выбирают номинальный состав бетона, обеспечивающий получение бетонной смеси и бетона с требуемыми показателями качества при минимальном расходе вяжущего.

Начальный состав бетона рассчитывают исходя из фактических характеристик материалов по известным методикам.

Дополнительные составы рассчитывают аналогично начальному при значениях варьируемых параметров состава, отличающихся от принятых при расчете начального на  $\pm(15...30\%)$ .

После определения номинального состава, устанавливают рабочий состав бетона с учетом фактической влажности заполнителей, который передают в производство.

Приведенная методика подбора состава бетона распространяется на все его виды.

1. Расчет начального и дополнительных составов бетона начинают с определения водо-цементного отношения по формуле Болломея-Скрамтаева, которую еще называют законом прочности бетона:

$$R_b = A * R_{ц} (Ц/В \pm 0,5),$$

где  $R_{ц}$  – активность цемента, определяемая по стандартной методике,  $A$  – коэффициент, характеризующий качество используемых заполнителей,  $R_b$  – класс бетона по прочности. Знак «+» ставится, если  $Ц/В > 2,5$ ; знак «-», если  $Ц/В \leq 2,5$ .

2. Количество воды затворения находят в зависимости от заданной подвижности или жесткости бетонной смеси по графикам или таблицам с учетом водопотребности мелкого заполнителя.
3. Расход цемента находят, зная количество воды затворения и водо-цементное отношение:  $Ц = В/(В/Ц)$ .
4. Расход крупного и мелкого заполнителей определяют исходя из пустотности, насыпной плотности с помощью уравнения абсолютных объемов.

## Пористость бетона

Закон прочности бетона, устанавливает зависимость прочности от качества применяемых материалов и пористости бетона.

Прочность вяжущего характеризуется его маркой, качество заполнителя коэффициентом, а пористость косвенно определяется величиной водоцементного отношения В/Ц.

Зависимость прочности от В/Ц является зависимостью прочности от объема пор, образованных водой, не вступающей в химическое взаимодействие с цементом.

Пористость бетона плотной структуры вычисляют по формуле:

$$П = \frac{В - wЦ}{1000} * 100\%$$

где В и Ц расход воды и цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона (1000 л), w – количество химически связанной воды. В возрасте 28 сут цемент связывает примерно 15% воды от своей массы.

## Свойства тяжелого бетона

### *Усадка и набухание бетона*

- При твердении на воздухе происходит усадка бетона, т.е. бетон сжимается и линейные размеры бетонных элементов сокращаются.
- Колебания влажности бетона вызывают попеременные деформации усадки и набухания, которые могут вызвать появление микротрещин и разрушение бетона.
- Для снижения усадочных напряжений и сохранения монолитности конструкций стремятся уменьшить усадку бетона. Массивный бетон высыхает снаружи, а внутри он еще долго остается влажным.
- Неравномерная усадка вызывает растягивающие напряжения в наружных слоях конструкции и появление внутренних трещин на контакте с заполнителем и в самом цементном камне.
- Наибольшую усадку имеет цементный камень. Введение заполнителя уменьшает количество вяжущего в единице объема материала, при этом образуется своеобразный каркас из зерен заполнителя, препятствующий усадке. Поэтому усадка цементного раствора и бетона меньше, чем цементного камня.

## Классы бетона

При проектировании конструкций прочность бетона на сжатие характеризуется классами.

**Класс бетона** определяется величиной гарантированной прочности на сжатие с обеспеченностью 0,95. Бетоны подразделяются на классы: В1,; В1,5; В2,; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30; В35; В40; В50; В55; В60.

На производстве контролируют среднюю прочность или марку бетона. Соотношение между классом и марками бетона по прочности связано коэффициентом вариации.

Коэффициент вариации прочности бетона (%) вычисляют по формуле:

$$w = \frac{S}{R}$$

где  $S$  – среднее квадратичное отклонение частных результатов испытаний от средней прочности  $R$ .

От коэффициента вариации зависит требуемая прочность бетона, следовательно, расход цемента в бетоне и его экономические показатели.

Средняя прочность или марка тяжелого бетона определяется пределом прочности (МПа) при сжатии стандартных бетонных кубов 15 x 15 x 15 см, изготовленных из рабочей бетонной смеси в металлических формах и испытанных в возрасте 28 сут после твердения в нормальных условиях - температура +15...20<sup>o</sup>C, относительная влажность окружающего воздуха 90...100%.

Превышение заданной прочности допускается не более чем на 15%, так как это ведет к перерасходу цемента.

Кубы размером 15 x 15 x 15 см применяют в том случае, когда наибольшая крупность зерен заполнителя 40 мм. При другой крупности заполнителя можно использовать кубы размерами 10 x 10 x 10 см, 7 x 7 x 7 см. В таких случаях вводятся переходные коэффициенты, на которые умножают полученную при испытаниях образцов прочность на сжатие.

## Прочность и твердение бетона

Для правильного определения состава бетона важно знать, как зависит его прочность от качества цемента и заполнителей, соотношение между составляющими и прочих факторов. Прочность бетона в определенный срок при твердении в нормальных условиях зависит главным образом от прочности (активности) цемента и водоцементного отношения.

Под водоцементным отношением (В/Ц) понимают отношение массы воды к массе цемента в свежееизготовленной бетонной смеси, причем учитывают только свободную, не поглощенную заполнителем воду. Прочность бетона повышается с увеличением прочности цемента или уменьшением водоцементного отношения.

Зависимость прочности бетона от водоцементного отношения вытекает из физической сущности формирования структуры бетона. Цемент при твердении в зависимости от качества и срока твердения присоединяет всего 15...20% воды от массы цемента. Вместе с тем для придания бетонной смеси пластичности в нее добавляют воды значительно больше (40...70% от массы цемента,  $V/C=0,4...0,7$ ), так как при  $V/C=0,2$  бетонная смесь является почти сухой и ее нельзя качественно перемешать и уложить.

Избыточная вода, не вступающая в химические реакции с цементом, остается в бетоне в виде водяных пор и капилляров или испаряется, оставляя воздушные поры.

В обоих случаях бетон будет ослаблен наличием пор, и чем их больше, т.е. чем больше  $V/C$ , тем ниже прочность бетона. Таким образом, закон водоцементного отношения по существу, выражает зависимость прочности бетона от его плотности или пористости.

Прочность бетона нарастает в результате физико-химических процессов взаимодействия цемента с водой, которые нормально проходят в теплых и влажных условиях. Взаимодействие цемента с водой прекращается, если бетон высыхает или замерзает. Раннее высыхание и замерзание бетона непоправимо ухудшает его строение и свойства.

Бетон нуждается в уходе, создающем нормальные условия твердения, в особенности в начальный период. В теплое время года влагу в бетоне сохраняют путем поливки и укрытия. На поверхность свежеложенного бетона наносят битумную эмульсию или его укрывают пленками.

# Морозостойкость бетона

Под морозостойкостью бетона понимают его способность в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременной замораживание и оттаивание.

Основной причиной, вызывающей разрушение бетона в этих условиях, является давление на стенки пор и микротрещин, создаваемое замерзающей водой. При замерзании вода увеличивается в объеме более чем на 9%. Расширению воды препятствует твердый скелет бетона, в котором могут возникать очень высокие напряжения. Цикличность заморзания и оттаивания приводит к постепенному разупрочнению структуры бетона и к его разрушению. Сначала начинают разрушаться выступающие грани, затем поверхностные слои и постепенно разрушение распространяется вглубь бетона.

Некоторое влияние будут оказывать и напряжения, вызываемые различием в коэффициентах температурного расширения составляющих бетона и температурно-влажностным градиентом.

Морозостойкость бетона определяют путем попеременного замораживания в холодильной камере при температуре  $-18-20^{\circ}\text{C}$  и оттаивания в воде при температуре  $+18-20^{\circ}\text{C}$  бетонных образцов кубов с размерами ребра 10, 15 или 20 см (в зависимости от наибольшей крупности заполнителя). За марку по морозостойкости принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое при испытании выдерживают образцы. Установлены марки по морозостойкости: F 50, F 75, F 100, F 150, F 200, F 300, F 400, F 500. Морозостойкость бетона зависит от качества примененных материалов и капиллярной пористости бетона.

Существует два различных способа повышения морозостойкости бетона:

- 1) Повышение плотности бетона, уменьшение объема макропор и их проницаемости для воды, например за счет снижения В/Ц, применения добавок, гидрофобизирующих стенки пор, или пропиткой специальными составами;
- 2) Создание в бетоне с помощью специальных воздухововлекающих добавок воздушных пор, не заполняемых при обычном водонасыщении бетона, но доступных для проникания воды под давлением, возникающем при ее замерзании.

Для получения морозостойкого бетона необходимо, чтобы расстояние между пузырьками воздуха, т.е. толщина прослоек между соседними воздушными порами, не превышала 0,025 см.

Поэтому для надлежащего эффекта необходимо обеспечить не только определенный объем воздухововлечения, но и получение воздушных пор возможно меньшего размера, так как это позволяет уменьшить из общий объем и способствует повышению морозостойкости бетона при наименьшем снижении его прочности вследствие воздухововлечения.

Оптимальный объем вовлеченного воздуха составляет 4...6% и определяется расходом цемента, воды и крупного заполнителя. Объем увеличивается при понижении крупности заполнителя и повышении расхода цемента и воды.

## *Проницаемость бетона*

Для бетона гидротехнических и ряда других сооружений важной характеристикой является его проницаемость. Она в известной мере определяет способность материала сопротивляться воздействию увлажнения и замерзания, влиянию различных атмосферных факторов и агрессивных сред. Для практики наибольшее значение имеет водопроницаемость бетона.

Проницаемость бетона зависит от его пористости, структуры пор и свойств вяжущего и заполнителей. Бетон является капиллярно-пористым материалом, как бы пронизанным тончайшей сеткой пор и капилляров различных размеров.

Объем макропор в бетоне колеблется от 0 до 40%. Макропористость бетона уменьшается при понижении В/Ц, увеличении степени гидратации цемента, уменьшении воздухововлечения в бетонную смесь, применении химических добавок, уплотняющих структуру бетона.

Необходимо учитывать тот факт, что на практике возможно заметное отклонение зависимости проницаемости от В/Ц, так как при одинаковом В/Ц макропористость будет зависеть от вида и расхода цемента, степени уплотнения и ряда других факторов, которые окажут заметное влияние на проницаемость бетона.

Большое значение для повышения непроницаемости бетона имеют его однородность и сохранение сплошности материала в процессе его твердения и эксплуатации. Появление микротрещин вследствие усадки бетона, при попеременном увлажнении и замораживании или высыхании может существенно снизить непроницаемость бетона.

## *Водонепроницаемость бетона*

По водонепроницаемости бетон делят на марки: W2, W4, W6, W8, W12, марка обозначает давление воды (кгс/ см<sup>2</sup> ), при котором образец-цилиндр высотой 15 см не пропускает воду в условиях стандартного испытания. С уменьшением объема капиллярных макропор снижается водонепроницаемость и одновременно повышается морозостойкость бетона. Для уменьшения водонепроницаемости в бетон при его изготовлении вводят уплотняющие и гидрофобизирующие добавки.

Особенно эффективным способом является пропитка бетона мономерами или их составами на их основе с последующей полимеризацией пропитывающего вещества в теле бетона. Практически непроницаемыми являются полимербетоны.

## *Деформативные свойства бетона*

- Под нагрузкой бетон ведет себя иначе, чем сталь и другие упругие материалы. Конгломератная структура бетона определяет его поведение при возрастающей нагрузке осевого сжатия.
- Область условно упругой работы бетона – от начала нагружения до напряжения сжатия, при котором по поверхности сцепления цементного камня с заполнителем образуются микротрещины.
- Опыты подтвердили, что при небольших напряжениях и кратковременном нагружении для бетона характерна упругая деформация, подобная деформации пружины.

- **Модуль упругости** бетона возрастает при увеличении прочности и зависит от пористости: увеличение пористости бетона сопровождается снижением модуля упругости.
- При одинаковом классе прочности модуль упругости легкого бетона на пористом заполнителе меньше в 1,7-2,5 раза тяжелого. Еще ниже модуль упругости ячеистого бетона.
- Таким образом, упругими свойствами бетона можно управлять, регулируя его структуру.
- Модуль упругости бетона при сжатии и растяжении принимают равными между собой.

- **Ползучестью** называют явление увеличения деформаций бетона во времени при действии постоянной статической нагрузки.
- Таким образом, полная относительная деформация бетона при длительном действии нагрузки складывается из его начальной упругой деформации и пластической деформации ползучести.
- Ползучесть зависит от вида цемента и заполнителей, состава бетона, его возраста, условий твердения и влажности.

- Меньшая ползучесть наблюдается при применении высокомарочных цементов и плотного заполнителя – щебня из изверженных горных пород.
- Пористый заполнитель усиливает ползучесть, поэтому легкие бетоны имеют большую ползучесть по сравнению с тяжелыми.
- С увеличением В/Ц ползучесть бетона при прочих равных условиях возрастает, так как цементный гель становится менее вязким, а бетон – более пористым.
- При одинаковом В/Ц большая ползучесть наблюдается у бетона с более высоким содержанием цемента.

- В бетоне, нагруженном в раннем возрасте, проявляется гораздо большая ползучесть, чем в позднем возрасте.
- На ползучести сказывается климат: она усиливается в теплом и сухом воздухе.
- Преждевременное высыхание бетона ухудшает структуру и увеличивает его ползучесть. Однако насыщение водой затвердевшего бетона может также вызвать рост ползучести.
- Ползучесть и связанная с ней релаксация напряжений может играть отрицательную роль. Например, ползучесть бетона приводит к потере напряжений в предварительно напряженных железобетонных конструкциях.

## Железобетонные и каменные конструкции

- **Железобетон** – это композиционный строительный материал, в котором соединены в единое целое бетон (матрица) и стальная арматура.
- Бетон обладает способностью, присущей большинству искусственных и природных каменных материалов – хорошо работать на сжатие, но плохо сопротивляться растяжению.
- Поэтому растянутую зону конструкций армируют стальной арматурой, которая воспринимает растягивающие напряжения.

- Совместной работе бетона и стальной арматуры способствует хорошее сцепление между ними и близость коэффициентов температурного расширения; также бетон защищает арматуру от коррозии.
- Железобетонные конструкции изготавливают с обычной и предварительно напряженной арматурой.
- Предварительно напряженные железобетонные конструкции более эффективны, чем обычные. В них полнее используется несущая способность арматуры и бетона, поэтому уменьшается масса изделия.



- Железобетонные конструкции подразделяют на *сборные* и *монолитные*.
- Сборные железобетонные конструкции монтируют на строительной площадке из отдельных элементов, изготовленных на заводах и полигонах.
- Монолитные железобетонные конструкции бетонируют на месте строительства.



# Особые виды бетона

## *Высокопрочный бетон*

- Высокопрочный бетон прочностью 60-100 МПа получают, применяя высокопрочный портландцемент, промытые песок и щебень. Малоподвижные смеси приготавливают с низкими В/Ц (0,27-0,45) в бетоносмесителях принудительного действия.
- Для плотной укладки этих смесей при формировании изделий и конструкций используют интенсивное уплотнение; более эффективно использовать суперпластификаторы, которые увеличивают подвижность бетонной смеси, не снижая прочность полученного бетона .

- Высокопрочные бетоны являются, как правило, и быстротвердеющими. Новые особо быстротвердеющие цементы дают возможность обойтись без тепловой обработки, так как бетон достигает нужной прочности в естественных условиях твердения при температуре 20-25° С.
- Применение высокопрочных бетонов дает возможность уменьшить расход арматурной стали на 10-12% и сократить объем бетона на 10-30%.

## *Гидротехнический бетон*

- Гидротехнический бетон предназначен для конструкций, находящихся в воде или периодически соприкасающихся с водой, поэтому он должен обладать свойствами, необходимыми для длительной нормальной службы этих конструкций в данных климатических и эксплуатационных условиях.
- Гидротехнический бетон должен иметь минимальную стоимость и удовлетворять требованиям по прочности, долговечности, водостойкости, водонепроницаемости, морозостойкости, тепловыделению при твердении, усадке и трещиностойкости.

- Бетон, расположенный в области переменного уровня воды, многократно замерзает и оттаивает, находясь все время во влажном состоянии. Этот бетон должен обладать высокой плотностью и морозостойкостью.
- Правильный выбор цемента, применение морозостойких заполнителей, подбор состава плотного бетона и тщательное производство бетонных работ обеспечивают получение долговечного бетона.
- Для внутримассивного бетона применяют шлакопортландцемент и пуццолановый портландцемент. Эти цементы экономичнее портландцемента, имеют малое тепловыделение и хорошо противостоят выщелачиванию гидроксида кальция .

## *Дорожный бетон*

- Дорожный бетон предназначен для оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов.
- Основной прочностной характеристикой дорожного бетона является прочность на растяжение при изгибе.
- Крупный заполнитель обязательно проверяют на износостойкость в полочном барабане; она нормируется в соответствии с назначением бетона.
- Бетон дорожных покрытий подвергается совместному действию воды и мороза при одновременном влиянии солей, используемых для предотвращения обледенения дорог.

- Для получения морозостойкого бетона применяют высокомарочный портландцемент с низким содержанием трехкальциевого алюмината, гидрофобный и пластифицированный портландцемент; В/Ц ограничивают до 0,5-0,55.
- Для декоративных целей при устройстве пешеходных переходов, разделительных полос, для изготовления элементов городского благоустройства используют *цветные бетоны*.
- Такие бетоны получают при введении в бетонную смесь щелоче- и светостойких пигментов или применении цветных цементов.
- В отдельных случаях используют заполнители, обладающие необходимым цветом, например, туфы, красные кварциты, мрамор и другие окрашенные горные породы.

## *Жаростойкий бетон*

- Жаростойкий бетон предназначен для промышленных агрегатов (облицовки котлов, футеровки печей) и строительных конструкций, подверженных нагреванию (например, дымовых труб).
- При действии высокой температуры на цементный камень происходит разложение гидроксида кальция с образованием  $\text{CaO}$ .
- Оксид кальция при воздействии влаги гидратируется с увеличением объема и вызывает растрескивание бетона. Поэтому в жаростойкий бетон на портландцементе вводят тонко измельченные материалы, содержащие активный кремнезем  $\text{SiO}_2$ , который реагирует с  $\text{CaO}$  при температурах  $700-900^\circ \text{C}$  и в результате химических реакций связывает  $\text{CaO}$ .

- Жаростойкий бетон изготавливают на портландцементе с активной минеральной добавкой.
- Глиноземистый цемент можно применять без тонкомолотой добавки. Поскольку при его твердении не образуется гидроксид кальция.
- Заполнитель для жаростойкого бетона должен быть не только стойким при высоких температурах, но и обладать равномерным температурным расширением. Такими являются не только бескварцевые изверженные плотные горные породы (сиенит, диорит, диабаз, габбро), но и пористые (пемза, вулканический туф), их можно применять при температурах до  $700^{\circ}\text{C}$ .
- При более высоких температурах заполнителем служат огнеупорные материалы: кусковой шамот, бой огнеупорных изделий.

## *Кислотоупорный бетон*

- Вяжущим для кислотоупорного бетона является жидкое стекло с полимерной добавкой. Для повышения плотности бетона вводят наполнители: кислотостойкие минеральные порошки, получаемые измельчением чистого кварцевого песка, андезита, базальта, диабаз.
- Кислотоупорный бетон хорошо выдерживает действие концентрированных кислот.
- Кислотоупорный бетон применяют в качестве защитных слоев (футеровок) по железобетону и металлу.

## Мелкозернистый бетон

- Мелкозернистый бетон не содержит крупного заполнителя, его применяют для изготовления тонкостенных конструкций.
- Свойства мелкозернистого бетона характеризуются теми же свойствами, что и обычный бетон. Однако из-за отсутствия крупного заполнителя увеличивается водопотребность бетонной смеси и, чтобы получить равнопрочный бетон и равноподвижную бетонную смесь, возрастает расход цемента на 20-40% по сравнению с обычным бетоном. Снижение расхода цемента возможно за счет применения высокопрочного песка, суперпластификатора, усиленного уплотнения.

- Мелкозернистый бетон имеет повышенную прочность на изгиб, хорошую водонепроницаемость и морозостойкость.
- Повышение эффективности мелкозернистого бетона возможно за счет использования отходов зол ТЭЦ и основных шлаков литейного производства.
- Мелкозернистый бетон широко применяется при изготовлении силикатных изделий автоклавного твердения

# Дисперсно-армированный бетон

- Фибробетон представляет собой композиционный материал, упрочненный волокнами.
- В нем невысокая прочность на растяжение и пластичность матрицы (бетона) сочетается с высокомодульным волокном, обладающим высокой прочностью на разрыв.
- Волокна препятствуют развитию усадочных деформаций, их наличие повышает прочность сцепления стержневой арматуры с бетоном на 40%.
- В зависимости от конструкций применяют минеральные стеклянные, металлические (преимущественно из нержавеющей стали), синтетические (полипропиленовые, капроновые) волокна.



## Легкие бетоны

Снизить высокую среднюю плотность бетона можно применением пористого заполнителя вместо плотного и поризацией цементирующего слоя.

К пористым заполнителям относятся:

- *керамзитовый песок и гравий* – получают путем обжига гранул, приготовленных из вспучивающихся глин или обжигом глиняных гранул во взвешенном состоянии;
- *неорганические пористые заполнители* – природные получают путем дробления горных пород (пемзы, вулканического туфа) и искусственные, являющиеся продуктами термической обработки минерального сырья;
- *шунгизит* – изготавливают обжигом шунгитовых сланцевых пород.
- *вспученный вермикулит* – пористый сыпучий материал, полученный обжигом водосодержащих слюд;
- *топливные шлаки* – пористые кусковые материалы, получающиеся в топке в результате спекания и вспучивания неорганических примесей, содержащихся в угле;
- *вспученный перлит* – получают обжигом водосодержащих вулканических стеклообразных пород (перлитов).



- *шлаковую пемзу* изготавливают путем быстрого охлаждения расплава металлургических (обычно доменных) шлаков, приводящего к вспучиванию. Куски шлаковой пемзы дробят и рассеивают, получая пористый щебень.
- *аглопорит* получают при обжиге глинодержащего сырья на решетках агломерационных машин. Каменный уголь выгорает, а частицы сырья спекаются. Применяют местное сырье: легкоплавкие глинистые породы, а также отходы промышленности – золы, топливные шлаки. Аглопорит выпускают в виде пористого песка, щебня и гравия.
- Для теплоизоляционных и некоторых видов конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов используют и органические заполнители, изготовленные из древесины, гранул пенополистирола, стекловолокна, пенопропиленовых фибр и др.

- Наивыгоднейшее сочетание показателей плотности, теплопроводности, прочности и расхода цемента для легких бетонов достигается при наибольшем насыщении бетона пористым заполнителем, что требует сближенного размещения зерен заполнителя в объеме бетона и формирование около заполнителя плотной контактной зоны.
- В этом случае в бетоне будет содержаться меньше цементного камня.
- Наибольшее насыщение бетона пористым заполнителем возможно только при правильном подборе зернового состава смеси мелкого и крупного пористых заполнителей, а также при использовании технологических факторов (интенсивного уплотнения, пластификаторов и др.)

- Теория легких бетонов основана на зависимости прочности легкого бетона, плотности и коэффициента выхода  $\beta$  от расхода воды, установленная Н.А. Поповым.
- Коэффициент выхода вычисляют по формуле:

$$\beta = \frac{V_{б.с.}}{V_{Ц} + V_{М} + V_{К}}$$

где  $V_{б.с.}$ ,  $V_{Ц}$ ,  $V_{М}$ ,  $V_{К}$  - объемы: уплотненной бетонной смеси, цемента, мелкого и крупного заполнителей;  $\beta$  - всегда меньше единицы (0,6-0,8).

- Прочность легкого бетона при повышении расхода воды постепенно возрастает.
- Это объясняется увеличением удобоукладываемости бетонной смеси и плотности бетона.
- После достижения наибольшего уплотнения смеси (т.е. минимального коэффициента выхода) увеличение расхода воды приводит к возрастанию объема пор, образованных несвязанной цементом водой, и к понижению прочности бетона.
- В легком бетоне отчетливо проявляется вредное влияние недостатка воды и меньше – ее избытка.

- Прочность легкого бетона  $R$  зависит от марки цемента, цементно-водного отношения, прочности пористого заполнителя и может быть приближенно определена по формуле

$$R = A * R_{\text{ц}} (\text{Ц/В} - b),$$

имеющей в определенных границах Ц/В такой же вид, как и для тяжелых бетонов.

- Только безразмерные параметры  $A$  и  $b$  другие. Чем ниже прочность пористого заполнителя, тем меньше величины  $A$  и  $b$ .

- При оптимальном количестве воды затворения, подобранном для применяемых цемента и заполнителей, прочность легкого бетона зависит главным образом от марки и расхода цемента:

- $R = K * R_{Ц} (Ц - Ц_0)$

где  $K$  и  $Ц_0$  - параметры, определяемые путем испытания образцов бетона, изготовленных с оптимальным количеством воды, но с различными расходами цемента и твердевших в тех же условиях, что и легкобетонные изделия.

Применяют два способа подбора состава легкого бетона:

- ❖ *С оптимальным расходом воды.*
- ✓ Приготавливают несколько составом легкобетонных смесей с различным содержанием цемента.
- ✓ Для каждой смеси устанавливают оптимальный расход воды путем приготовления и испытания опытных замесов.
- ✓ Оптимальный состав смеси выбирают по заданной удобоукладываемости бетонной смеси, плотности и прочности бетона при минимальном расходе цемента.
- ✓ Способ требует изготовления и испытания большого количества стандартных образцов.

- ❖ *По заданной удобоукладываемости.* Способ включает следующие этапы:
- ✓ Выбор наибольшей крупности заполнителя. Наибольший диаметр назначают исходя из размеров конструкции и расположения арматуры.
- ✓ Назначение зернового состава смеси заполнителей. Применение только крупного заполнителя позволяет получить легкий бетон с минимальной средней плотностью, но сравнительно невысокой прочностью. Наиболее прочный легкий бетон можно получить путем рационального выбора зернового состава заполнителя.

- Зерновой состав назначают предварительно по графикам или таблицам, а затем уточняют путем изготовления серий опытных образцов на заполнителях различного зернового состава.
- ✓ Выбор предварительных расходов вяжущего и добавок для изготовления пробных замесов. С целью установления расхода цемента необходимого для получения заданного класса по прочности, приготавливают образцы с различным расходом цемента при требуемом расходе воды и испытывают их.

- По результатам испытаний строят графики, по которым определяют количество цемента для получения требуемой прочности и плотности полученного бетона.
- ✓ Определение расхода воды по требуемой удобоукладываемости бетонной смеси, отдельно для каждого зернового состава заполнителей и расхода цемента.

*Качество легкого бетона* оценивают двумя важными показателями: **классом по прочности и маркой по средней плотности.**

- Легкий бетон плотной структуры по прочности на сжатие (МПа) имеет классы: В2,5 ... В40.
- Для легких бетонов, запроектированных без учета классов, показатели прочности ( $\text{кгс/см}^2$ ) характеризуют марками: М35 – М500.

Для изготовления высокопрочных легких бетонов (имеющих плотность 1600-1800  $\text{кг/м}^3$ ) применяют более прочный пористый заполнитель, а пористый песок частично или полностью заменяют плотным.

В зависимости от плотности в сухом состоянии легкие бетоны подразделяются на марки: Д200...Д2000.

- Наиболее важной наряду с прочностью характеристикой легкого бетона является плотность.
- В зависимости от назначения легкие бетоны делят на группы:
  - функциональные – с плотностью до  $500 \text{ кг/м}^3$  ;
  - конструктивно-функциональные (для ограждающих конструкций – наружных стен, покрытий зданий) – плотностью  $500-1400 \text{ кг/м}^3$  ;
  - конструкционные – с плотностью  $1400-1800 \text{ кг/м}^3$  .

- Уменьшить плотность легких бетонов можно путем образования в цементном камне мелких замкнутых пор.
- Для поризации цементного камня, являющейся самой тяжелой частью легкого бетона, используют небольшие количества пенообразующих или газообразующих веществ.
- Мелкие и равномерно распределенные поры в цементном камне незначительно понижают прочность, но зато существенно уменьшают плотность и теплопроводность легкого бетона.

- **Теплопроводность** легких бетонов зависит в основном от плотности и влажности. Увеличение объемной влажности легкого бетона на 1% сильно повышает теплопроводность.
- Наружные ограждающие конструкции из легких бетонов подвергаются воздействию попеременного замораживания и оттаивания, увлажнения и высыхания.
- Поэтому легкие бетоны, применяемые для наружных стен, покрытий зданий, а также для конструкций мостов, гидротехнических сооружений, должны обладать определенной морозостойкостью.

- Возможность получения легких бетонов с высокой морозостойкостью и малой водонепроницаемостью значительно расширяет области их применения. Бетоны на пористых заполнителях успешно используют в мостостроении, гидротехническом строительстве.
- **Водонепроницаемость** плотных конструктивных легких бетонов может быть высокой. Малая водонепроницаемость плотных легких бетонов подтверждается долговечней эксплуатацией возведенных из них гидротехнических сооружений.
- Характерно, что со временем водонепроницаемость легких бетонов повышается.

# Крупнопористый бетон

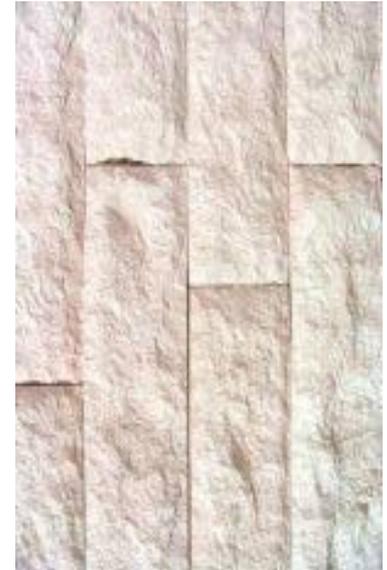
- В состав крупнопористого (беспесчаного) бетона входят гравий или щебень крупностью 5-20 мм, портландцемент или шлакопортландцемент и вода.
- В крупнопористом бетоне применяется крупный заполнитель, пустотность которого превышает 40%.
- При приготовлении крупнопористого бетона можно применять монофракционные заполнители.
- За счет исключения песка из состава крупнопористого бетона его плотность уменьшается и составляет 1700-1900 кг/м<sup>3</sup>.

- Бетон состоит из зерен заполнителя, покрытых и цементированных тонким слоем цементного камня.
- Бетон содержит крупные поры, так как содержание цементного теста в бетонной смеси и цементного камня в бетоне выбирается так, что они целиком не заполняют межзерновые пространства.
- Отсутствие песка и ограниченный расход цемента (70-150 кг/м<sup>3</sup>) позволяют получить пористый бетон с низкой теплопроводностью и прочностью 2,5-10 МПа.

- Из крупнопористого бетона возводят монолитные наружные стены зданий, изготавливают крупные стеновые блоки.
- Крупнопористый бетон достаточно морозостоек. В связи со сравнительно низкой стоимостью его можно использовать для строительства стен малоэтажных зданий.
- Наружные стены следует оштукатуривать с двух сторон для понижения воздухопроницаемости и повышения долговечности.

# Гипсобетон

- Гипсобетон изготавливают на основе строительного гипса, высокопрочного гипса и гипсоцементнопуццоланового вяжущего, обеспечивающего получение водостойких изделий.
- Для уменьшения плотности стремятся применять пористые заполнители (топливные шлаки, керамзитовый гравий, шлаковую пемзу), а также комбинированный заполнитель из кварцевого песка и древесных опилок.
- С этой целью вводят порообразующие добавки, позволяющие снизить плотность гипсобетона.
- Для повышения прочности на изгиб и уменьшения хрупкости в состав гипсобетона вводят волокнистые наполнители (древесные волокна, измельченную бумажную массу).



- Крупноразмерные изделия изготавливают способом непрерывного вибропроката на специальных станах. Отформованные затвердевшие изделия высушивают в сушильных камерах.
- Плотность гипсобетонов в зависимости от применяемого заполнителя и водогипсового отношения составляет 1000-1600 кг/м<sup>3</sup>, а марки М25 и М50.
- Гипсобетон широко применяют для изготовления сплошных и пустотелых плит перегородок. Плиты можно армировать органическими волокнами. Стальная арматура (проволока) должна быть защищена от коррозии битумной, полимерной обмазкой.
- На водостойком гипсоцементнопуццолановом вяжущем изготавливают мелкие камни и крупные блоки для внутренних и наружных стен в помещениях с влажностью до 75%.



## Ячеистые бетоны

Являются разновидностью легкого бетона, его получают в результате затвердевания вспученной при помощи порообразователя смеси вяжущего, кремнеземистого компонента и воды.

При вспучивании исходной смеси образуется характерная «ячеистая» структура бетона с равномерно распределенными по объему воздушными порами (до 85% от общего объема бетона). Благодаря этому ячеистый бетон имеет меньшую плотность и малую теплопроводность.

Пористость ячеистого бетона сравнительно легко регулировать в процессе изготовления, в результате получают бетоны разной плотности и назначения.

- Пористость ячеистого бетона сравнительно регулировать в процессе изготовления, в результате чего получают бетоны разной плотности.
- Ячеистые бетоны делят на три группы:
  1. Теплоизоляционные – плотностью в высушенном состоянии не более  $500 \text{ кг/м}^3$ ;
  2. Конструкционно-теплоизоляционные (для ограждающих конструкций) плотностью  $500-900 \text{ кг/м}^3$ ;
  3. Конструкционные (для железобетона) плотностью  $900-1200 \text{ кг/м}^3$ ;

- **Материалы для ячеистого бетона.**
- Вяжущим для цементных ячеистых бетонов обычно служит портландцемент. Бесцементные ячеистые бетоны (газо- и пеносиликат) автоклавного твердения изготавливают на основе молотой негашеной извести.
- Вяжущее применяют совместно с кремнеземистым компонентом, содержащим диоксид кремния.
- Кремнеземистый компонент (молотый кварцевый песок, молотый гранулированный доменный шлак) уменьшает расход вяжущего, усадку бетона и повышают качество ячеистого бетона. Измельчение кварцевого песка увеличивает его удельную поверхность и повышает химическую активность.
- Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим устанавливают опытным путем. При перемешивании материалов в смесителе получают исходную смесь – тесто, из которого получают искусственный камень – бетон.

*Вспучивание теста вяжущего* может осуществляться двумя способами:

1. Химическим, когда в тесто вяжущего вводят газообразующую добавку и в смеси происходят химические реакции, сопровождающиеся выделением газа;
2. Механическим, заключающимся в том, что тесто вяжущего смешивают с отдельно приготовленной устойчивой пеной.

В зависимости от способа изготовления ячеистые бетоны делят на *газобетон* и *пенобетон*.

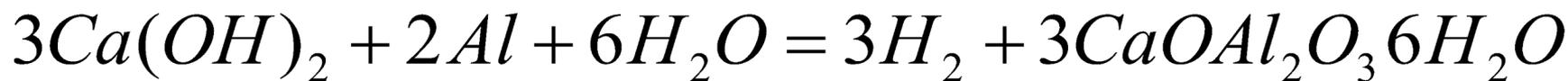
Технология производства газобетона более проста и позволяет получить материал пониженной плотности со стабильными свойствами. Пена же не отличается стабильностью, что вызывает колебания плотности и прочности пенобетона.

# Газобетон и газосиликат

- Газобетон изготавливают из смеси портландцемента (часто с добавкой воздушной извести или едкого натра), кремнеземистого компонента и газообразователя.
- По типу химических реакций газообразователи делят на следующие виды:
  - вступающие в химическое взаимодействие с вяжущим или продуктами его гидратации (алюминиевая пудра);
  - разлагающиеся с выделением газа (пергидроль  $\text{H}_2\text{O}_2$ );
  - взаимодействующие между собой и выделяющие газ в результате обменных реакций (например, молотый известняк и соляная кислота).



- Чаще всего газообразователем служит алюминиевая пудра, которая, реагируя с гидроксидом кальция, выделяет водород по реакции:



- **Литьевая технология** предусматривает отливку изделий, как правило, в отдельных формах из текучих смесей, содержащих 50-60% воды от массы сухих компонентов.
- В приготовленную смесь вливают водную суспензию алюминиевой пудры и после последующего перемешивания теста с алюминиевой пудрой газобетонную смесь заливают в металлические формы на определенную высоту с таким расчетом, чтобы после вспучивания формы были заполнены доверху.

- Избыток смеси («горбушку») после схватывания срезают проволочными струнами.
- Для ускорения газообразования, а также процессов схватывания и твердения применяют смеси на подогретой воде с температурой в момент заливки в формы около  $40^{\circ}\text{C}$ .
- Тепловую обработку бетона производят преимущественно в автоклавах в среде насыщенного водяного пара при температуре  $175-200^{\circ}\text{C}$  и давлении  $0,8-1,3$  МПа.

- Резательная технология изготовления изделий из ячеистого бетона предусматривает формирование вначале большого массива. После того, как бетон наберет структурную прочность, массив разрезают в горизонтальном и вертикальном направлениях на прямоугольные элементы, а затем подвергают тепловой обработке.
- Из готовых элементов, имеющих точные размеры, собирают на клею плоские или объемные конструкции, используя стяжную арматуру.
- Таким путем получают большие стеновые панели размером на одну или две комнаты и высотой в этаж.



# Пенобетон и пеносиликат

- Пенобетон изготавливают, смешивая отдельно приготовленную растворную смесь и пену, образующую воздушные ячейки.
- Растворную смесь получают из тех же компонентов, что и для газобетона.
- Пену приготавливают в лопастных пеновзбивателях или центробежных насосах из водного раствора пенообразователей, содержащих поверхностно-активные вещества. Стабилизаторами пены служат добавки раствора жидкого стекла, сернокислого железа; минерализаторами являются цемент и известь.



- Более устойчивую пену и легкий бетон более высокого качества, можно получить смешивая пену с цементным тестом.
- Изменяя количество введенной пены, температуру, режим перемешивания, можно получить пеномассу с различным объемом пор и, следовательно, пенобетон с требуемой средней плотностью.
- Приготовленную пеномассу разливают в формы. После выдержки в форме и окончания процессов схватывания, производится автоклавная обработка.

# Керамзитобетон

- Возможность получать керамзитовый гравий из глинистого сырья большинства месторождений, дешевизна, относительно высокая прочность зерен при невысокой плотности, низкий коэффициент теплопроводности определяют значительно более широкое применение керамзитобетона по сравнению с другими видами легких бетонов.
- По своему назначению и физико-техническим свойствам керамзитобетон делится на:
  - ✓ теплоизоляционный,
  - ✓ теплоизоляционно-конструктивный,
  - ✓ конструктивный.
- Теплоизоляционный керамзитобетон в сухом состоянии имеет насыпную плотность 300—900 кг/м<sup>3</sup>.



- К теплоизоляционному керамзитобетону не предъявляются требования высокой прочности и его низкая средняя плотность целиком зависит от качества керамзита.
- Для получения теплоизоляционного керамзитобетона низкой плотностью можно использовать керамзит наиболее крупных фракций (20—40 мм и более), обжигаемый по специальному режиму, обеспечивающему усиленное вспучивание гранул и образование крупных пор.
- Насыпная плотность такого керамзита достигает 150—200 кг/м<sup>3</sup>. Из него получают крупнопористый керамзитобетон с плотностью 350—400 кг/м<sup>3</sup> и пределом прочности при сжатии до 10 МПа.

- Теплоизоляционно-конструктивный керамзитобетон имеет марки 35, 50, 75, и его средняя плотность колеблется от 700 до 1 400 кг/м<sup>3</sup>.
- Повышенная прочность по сравнению с теплоизоляционным керамзитобетоном при невысоком коэффициенте теплопроводности позволяет применять этот керамзитобетон в ограждающих конструкциях зданий.
- Однако к нему предъявляются требования морозостойкости (до 25 циклов замораживания и оттаивания для зданий I категории на керамзитобетонные панели) должна быть для наружных стеновых панелей не ниже Мрз 25, для цокольных панелей — не ниже Мрз 35.

- Конструктивный керамзитобетон имеет высокую прочность, сравнительно низкую плотность и применяется в сооружениях, в которых необходимо облегчить несущую конструкцию. Значение его плотности до  $1700 \text{ кг/м}^3$ , прочность при сжатии до 40 МПа.
- Конструктивный керамзитобетон может быть армирован обычной или предварительно напряженной арматурой (в последнем случае марка керамзитобетона не должна быть менее 200). Для изготовления стеновых панелей конструктивный керамзитобетон не применяется.
- Для повышения прочности и модуля упругости керамзитобетона в керамзитобетонную смесь добавляют кварцевый песок.
- В ряде случаев в последнее время изготавливают керамзитобетон из керамзитного крупного заполнителя (гравия) и кварцевого песка без добавок керамзитового песка.

- В качестве вяжущего в керамзитобетоне применяется преимущественно портландцемент марки не ниже 400 с наименьшим количеством пуццоланизирующих добавок, без пластификаторов.
- Возможность применения пуццолановых и шлакопортландцементов должна устанавливаться опытным путем для каждого материала в связи с тем, что в дробленом керамзите содержится значительное количество пыли, повышенное содержание которой как гидравлической добавки может снизить воздухоустойчивость и водостойкость бетона.

- На современном оборудовании формируются как полнотелые, так и пустотелые блоки. У полнотелых - хорошие прочностные свойства, поэтому используются они чаще всего для кладки фундаментов и наружной облицовки. Пустотелые - обеспечивают хорошую тепловую и звуковую изоляцию стен. Кроме этого пустоты в блоках позволяют снизить расход сырья и, как следствие, себестоимость продукции. При этом прочностные характеристики удовлетворяют всем необходимым требованиям.
- Сквозные пустоты в блоках позволяют устраивать скрытый каркас в теле стены, который резко повышает ее несущую способность. Блоки имеют хорошие характеристики по прочности и годятся не только для малоэтажного строительства. Их теплопроводность значительно меньше, чем у обычного бетона, а стоимость ниже.
- Керамзитобетонные блоки архитектурно выразительны, экологичны; их применение возможно без штукатурки внутренних фасадов, что исключает влагообразование.

- Комбинация многообразных форм и фактур блоков предоставляет архитектору неограниченный простор для творчества. Фасады зданий, построенных из этого материала, не требуют дополнительной внешней отделки. Декоративные стеновые блоки обладают высокой прочностью, морозостойкостью, красивой фактурой поверхности.
- Благодаря точно выдержанным размерам и разнообразию форм керамзитобетон прекрасно сочетается со всеми видами мелкоштучных строительных материалов, железобетонных изделий, металлоконструкций, дверных и оконных проемов.
- Такой блок несколько крупнее полуторного кирпича. Но его размеры обеспечивают удобство транспортировки, хранения, легкость в работе без применения каких-либо специальных приспособлений и устройств. Его кладка ничем не отличается от кладки из обычного керамического кирпича, но является более легкой и удобной, благодаря чему возведение стен из блоков доступно и обычному частному застройщику.

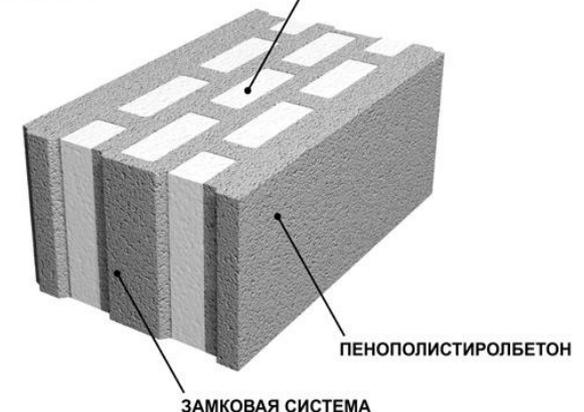
# Пенополистиролбетон

- **Полистиролбетон** — разновидность лёгкого бетона — представляет собой композиционный материал, в состав которого входит портландцемент, минеральный наполнитель (песок), пористый наполнитель - гранулы вспененного полистирола, вода, а также воздухововлекающая добавка.
- Благодаря сочетанию теплоизолирующего материала, которым являются полистирольные гранулы и бетона в одном продукте удалось получить оптимальную комбинацию характеристик для строительного материала - устойчивость к гниению, гидрофобность, высокие показатели несущих характеристик, теплоизоляции, огнезащиты, звукоизоляции, морозоустойчивости и сроков эксплуатации.



Сопротивление теплопередачи  
 $R=3,7 \text{ М}^2\text{°С/Вт}$

ПЕНОПОЛИСТИРОЛ "ПСБ С 25"



- Полистиролбетон используется для производства строительных блоков и фасадных декоративных панелей.
- Полистиролбетон обладает хорошей конструкционной прочностью. Полистиролбетонные блоки сочетают в себе достоинства бетона (прочность), древесины (легкость обработки) и пенополистирола (высокие тепло- и звукозащитные свойства), широко применяются в качестве строительной термоизоляции. Полистиролбетон относится к трудногорючим материалам.

- Используется на крышах и полах как тепло- и звукоизоляция. Он также используется для заполнения пустот в кирпичной кладке, подземных стен, изоляции в пустотелых блоках, идеален для объемного и любого другого заполнения, где требуются высокие изоляционные свойства.
- Применяется для изготовления сборных блоков и панелей перегородок, покрывающих плит подвесных потолков, тепло- и звукоизоляции в многоуровневых жилых и коммерческих сооружениях.
- Полистиролбетон обладает отличной гидроизоляцией при сохранении паропроницаемости.

- Преимущественно изготавливают пенополистиролбетонные блоки плотностью от 250 до 600 кг/м<sup>3</sup>:
  - D 250-300 - применяется при возведении перегородок;
  - D 400-500 - применяется в качестве самонесущих стен;
  - D 500-600 - применяется в качестве несущих, ограждающих конструкций в малоэтажном строительстве.
- Водопоглощение полистиролбетона существенно ниже, чем у газобетона, поскольку поры в материале изолированы друг от друга и вода впитывается только поверхностью. У обычного бетона, однако, этот показатель еще ниже.