



БЕТОНЫ

ПЛАН

1. Общие сведения и классификация бетонов.
2. Сырьевые материалы для тяжелого бетона.
3. Приготовление и транспортирование бетонной смеси.
4. Укладка бетонной смеси.
5. Свойства бетонной смеси и структурообразование бетона.
6. Проектирование состава бетона.
7. Специальные виды тяжелых бетонов.
8. Легкие бетоны.

1. Общие сведения и классификация бетонов.

- ▣ **Бетон** - искусственный камень, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной смеси вяжущего вещества, воды и заполнителей (песка и щебня или гравия). Смесь этих материалов до затвердения называют бетонной смесью.



- Зерна песка и щебня составляют каменный остов в бетоне. Цементное тесто, образуемое после затворения бетонной смеси водой, обволакивает зерна песка и щебня, заполняет промежутки между ними и играет роль смазки заполнителей, придающей бетонной смеси подвижность (текучесть). Цементное тесто, затвердевая, связывает зерна заполнителей, образуя искусственный камень - бетон.
- Бетон в сочетании со стальной арматурой называют *железобетоном*.



- В бетон могут вводиться специальные добавки, улучшающие свойства бетонной смеси и бетона.

КЛАССИФИКАЦИЯ БЕТОНОВ

По назначению

Конструктивные

(для несущих конструкций:
фундаменты, колонны,
балки, плиты и др.)

Специальные

(жаростойкие,
декоративные,
теплоизоляционные,
полимербетоны и др.)

КЛАССИФИКАЦИЯ БЕТОНОВ

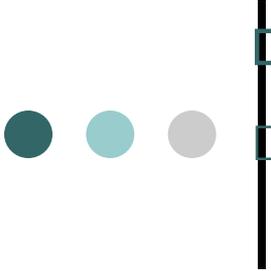
По виду
вяжущего
вещества

цементны
е

силикатны
е

гипсовые

на
шлаковых
и
специальн
ых
вяжущих



Заполнители бывают:

- по виду сырья *обычные плотные, естественные или искусственные пористые; специальные*, удовлетворяющие специальным требованиям (защиты от излучений, жаростойкости, химической стойкости и т.п.),
- кроме того, разновидностью является ячеистый бетон, отличающийся высокой пористостью до 80-90%.
- В связи с этим бетоны классифицируют также
- по структуре: *плотная, поризованная, ячеистая и крупнопористая.*

КЛАССИФИКАЦИЯ БЕТОНОВ

По средней
плотности

Особотяжелые
(более 2500
кг/м³)

Тяжелые
(2200-2500
кг/м³)

Облегченные
(1800-2200
кг/м³)

Легкие
(500-1800
кг/м³)

- 
- **По показателям прочности бетона устанавливаются их гарантированные значения классы.** Бетоны, предназначенные для зданий и сооружений, делят на классы **B**, основной контролируемой характеристикой которых является прочность при сжатии кубов размером 150*150*150 мм и соответственно цилиндров размером 150*300 мм.
 - Для перехода от класса бетона (МПа) при нормативном коэффициенте вариации 13,5% применяют формулу:

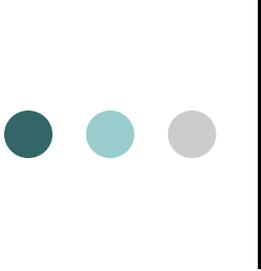
$$R=B/0,778$$

- Долговечность бетона оценивают степенью **морозостойкости.** По этому показателю бетоны делят на марки от F15 до F500.
- Качество бетона оценивают **по водонепроницаемости,** которая определяется максимальной величиной давления воды, при котором не наблюдается ее просачивания через контрольные образцы, изготовленные и испытанные на водонепроницаемость согласно требованиям действующих стандартов.
- Бетон делят на марки W2, W4, W6, W8 и W12.



2. Сырьевые материалы для тяжелого бетона.

- Тяжелый бетон, применяемый для изготовления несущих элементов и конструкций промышленных и жилых зданий и инженерных сооружений, должен иметь определенную прочность в заданный срок твердения, а бетонная смесь должна иметь заданную удобоукладываемость.
- Для приготовления тяжелых бетонов применяют портландцемент, шлакопортландцемент, или их разновидности.
- Цемент выбирают с учетом требований, предъявляемых к бетону (прочность, морозостойкость, химическая стойкость, водонепроницаемость и также технологичность изготовления изделий, их назначение и условия эксплуатации).



Марку цемента выбирают в зависимости от требуемой прочности бетона при сжатии:

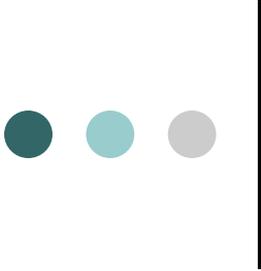
Прочность бетона, МПа	100	150	200	250	300	400	500
Марка цемента	300	300	300 - 400	400	400 - 500	500 - 600	600

Для приготовления бетонной смеси применяется питьевая вода, а также любая вода, не содержащая вредных примесей (сульфатов, жиров, растительных масел, сахара), препятствующих нормальному твердению бетона.

- К добавкам для бетонов относятся неорганические и органические вещества или их смеси, за счет введения которых регулируются свойства бетонных смесей и бетонов либо бетонам придаются специальные свойства.
- Добавки для бетонов делят на следующие группы:
 - 1. **Регулирующие реологические свойства бетонных смесей**. К ним относятся пластифицирующие (сульфитно-дрожжевая барда (СДБ), пластификатор адипиновой щелочной (ПАЩ-1), упаренная последрожжевая барда (УПБ), пластификатор ВРП-1, С-3), увеличивающие подвижность бетонных смесей; стабилизирующие, предупреждающие расслоение, и водоудерживающие, уменьшающие водоотделение.
 - 2. **Регулирующие схватывание бетонных смесей и твердение бетонов**. К ним относятся добавки, замедляющие схватывание (сахарная патока, добавки СДБ, ГКЖ-10), ускоряющие схватывание и твердение (хлорид кальция, сульфат натрия, нитрит-нитрат-хлорид кальция), и противоморозные, т. е. обеспечивающие твердение бетона при отрицательных температурах (поташ, хлорид натрия, хлорид кальция).
 - 3. **Добавки, регулирующие пористость бетонной смеси и бетона**. К ним относятся воздухововлекающие (смола нейтрализованную воздухововлекающую (СНВ); натриевую соль абиетиновой кислоты и др.), газообразующие (алюминиевая пудра, ГКЖ-94) и пенообразующие (клееканифольные, смолосапониновые) добавки, а также уплотняющие (нитрат кальция (НК), хлорид и сульфат железа (ХЖ и СЖ), сульфат алюминия (СА), диэтиленгликолиевую ДЭГ-1 или триэтиленгликолиевую ТЭГ-1 смолы).
 - 4. **Добавки, придающие бетону специальные свойства**: гидрофобизирующие, уменьшающие смачивание, повышающие противорадиационную защиту, жаростойкость; антикоррозионные (нитрит натрия, бихромат калия).
 - 5. **Добавки полифункционального действия, одновременно регулирующие различные свойства бетонных смесей и бетонов**: пластифицирующе-воздухововлекающие; пластифицирующие, повышающие прочность бетона, и газообразующе-пластифицирующие.
 - 6. **Минеральные порошки - заменители цемента**. К этой группе относятся тонкомолотые материалы, вводимые в бетон в количестве 5-20%. Это золы, молотые шлаки, отходы камнедробления и др., придающие бетону специальные свойства (жаростойкость, электропроводимость, цвет и др.).

- **Песок** - рыхлая смесь зерен крупностью 0,16-5 мм, образовавшаяся в результате естественного разрушения массивов горных пород (природные пески) или измельчением каменных материалов (искусственные пески).
- **Природные пески по минералогическому составу** подразделяются на кварцевые, известняковые, доломитовые и др. Из природных песков наибольшее применение для тяжелого бетона получили кварцевые пески.
- На качество бетона большое влияние оказывают зерновой состав песка (определяют путем отсева песка на стандартном наборе сит) и содержание в нем различных примесей. Наиболее вредной в песке является примесь глины и пылевидных примесей.
- Очищать песок от глинистых и пылевидных частиц можно промывая его водой в пескомойках.



- 
- Зерновой состав песка определяют просеиванием сквозь стандартный набор сит. Пробу песка просеивают сквозь сита с отверстиями диаметром 10 и 5 мм. Вычисляют процентное содержание в песке фракций гравия от 5 до 10 мм (Гр5) и более 10 мм (Гр10) по формулам:

$$\Gamma p_{10} = \frac{m_{10}}{m_1} \cdot 100$$

$$\Gamma p_5 = \frac{m_5}{m_1} \cdot 100$$

- где m_{10} и m_5 – остатки на ситах с отверстиями 10 и 5 мм, кг; m_1 – масса пробы, кг.

Модуль крупности песка (ДСТУ Б В.2.7-32-95) определяют так:

1) по результатам просеивания вычисляют: *частный остаток* на каждом сите (a_i) в процентах по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100,$$

где m_i - масса остатка на данном сите, г;

m - масса просеиваемой навески, г;

2) *полный остаток* на каждом сите (A_i) в процентах по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i,$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, a_i - частные остатки на соответствующих ситах.

3) Модуль крупности песка (M_k) без зерен размером крупнее 5 мм определяем по формуле

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{063} + A_{0315} + A_{016}}{100},$$

где $A_{2,5}$, $A_{1,25}$, A_{063} , A_{0315} , A_{016} - полные остатки на сите с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и на ситах с сетками № 1,25; 063; 0315, 016, %.

Результат определения зернового состава песка оформляют в соответствии с табл. 1 или изображают графически в виде кривой просеивания, которая должна находиться в области оптимального гранулометрического состава песка (рис. 1).



Таблица 1

Зерновой состав песка

№ п. п.	Показатели	Диаметр отверстий сит, мм						
		5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16
1	Масса заполнителя на i -тому сите, a_i , кг							
2	Частные остатки, a_i , %							
3	Полные остатки, A_1 , %							



Рис.1 Граничные кривые просеивания песка

Нормативная таблица зернового состава для определения группы песка (для общестроительных работ)

<i>Группы песка</i>	<i>Полный остаток на сите № 063, % по массе</i>	<i>Модуль крупности</i>
<i>Очень крупный</i>	<i>Более 75</i>	<i>Более 3,5</i>
<i>Повышенной крупности</i>	<i>65 – 75</i>	<i>3,0 – 3,5</i>
<i>Крупный</i>	<i>45 – 65</i>	<i>2,5 – 3,0</i>
<i>Средней крупности</i>	<i>30 – 45</i>	<i>2,0 – 2,5</i>
<i>Мелкий</i>	<i>10 – 30</i>	<i>1,5 – 2,0</i>
<i>Очень мелкий</i>	<i>Менее 10</i>	<i>1,0 – 1,5</i>
<i>Тонкий</i>	<i>Не нормируется</i>	<i>0,7 – 1,0-</i>
<i>Очень тонкий</i>	<i>Не нормируется</i>	<i>До 0,7</i>

■ Гравий и щебень из горных пород или щебень гравия размером зерен 5-70 мм - крупный заполнитель для тяжелого бетона.

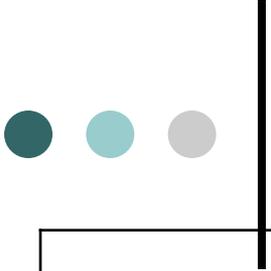
■ Гравий - зерна окатанной формы и гладкой поверхности размером 5-70 мм, образовавшиеся в результате естественного разрушения горных пород. Часто гравий залегает вместе с песком. При содержании в гравии песка 25-40% материал называют песчано-гравийной смесью. Гравий, подобно песку, может содержать вредные примеси пыли, ила, глины, органических кислот. Количество в гравии глинистых, илистых и пылевидных примесей, определяемых отмучиванием, не должно превышать 1% по массе.





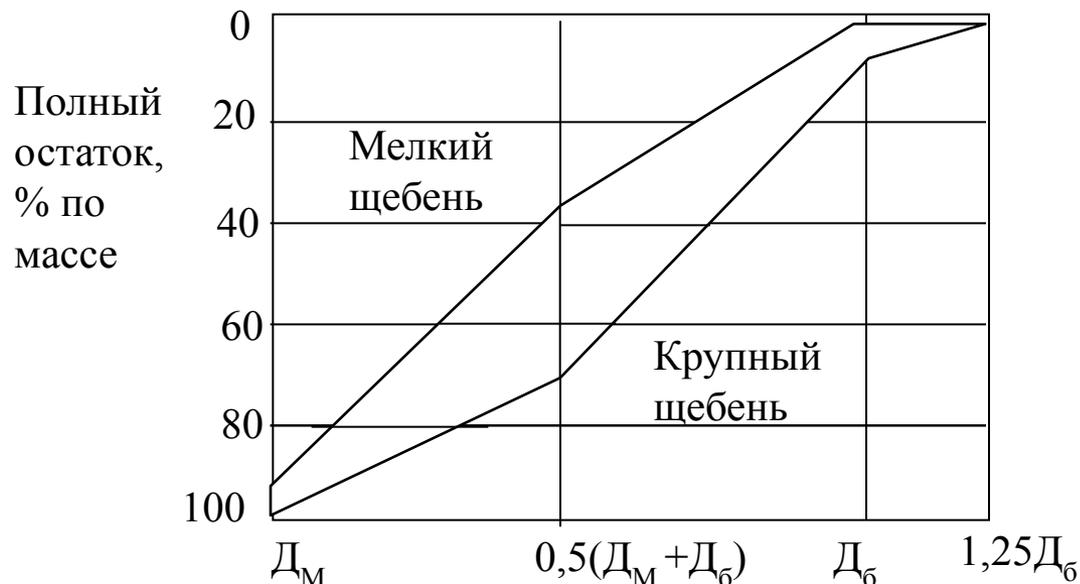
- **Щебень** получают путем дробления массивных горных пород, гравия, валунов или искусственных камней, доменных и мартеновских шлаков на куски размером 5-120 мм. Дробление производят в камнедробилках. При этом получают не только зерна щебня, но и мелкие фракции, относящиеся по крупности к песку и пыли. Зерна щебня имеют неправильную форму. Лучшей считается форма, приближающаяся к кубу и тетраэдру. Вследствие шероховатости поверхности зерна щебня лучше сцепляются с цементным камнем в бетоне, чем гравий, но бетонная смесь со щебнем менее подвижна.
- Щебень имеет следующие марки: 200, 300, 400, 600, 1000, 1200, 1400.

Применяемые фракции в зависимости от
наибольшей
крупности зерен заполнителя

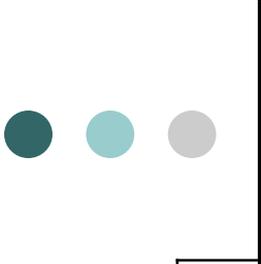


Наибольшая крупность зерен, мм	10	20	40	70	120
Фракция крупного заполнителя, мм	5-10 или 3-10	5(3)-10 10-20	5(3)-10 10-20 20-40	5(3)-10 10-20 20-40 40...70	5(3)-10 10-20 20-40 40-70 70-120

- Гранулометрический состав щебня должен укладываться в контур в границах кривых просеивания (рис.2.).

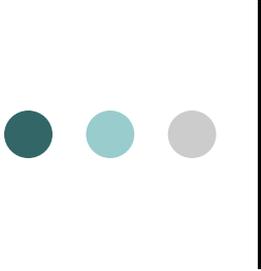


- Рис.2. Граничные кривые просеивания щебня и гравия,**
- где D_M – размер отверстий первого из сит набора, сквозь которое проходит не более 10% просеиваемой пробы;
- $D_б$ - размер отверстий первого из сит набора полный остаток на котором не превышает 10%.

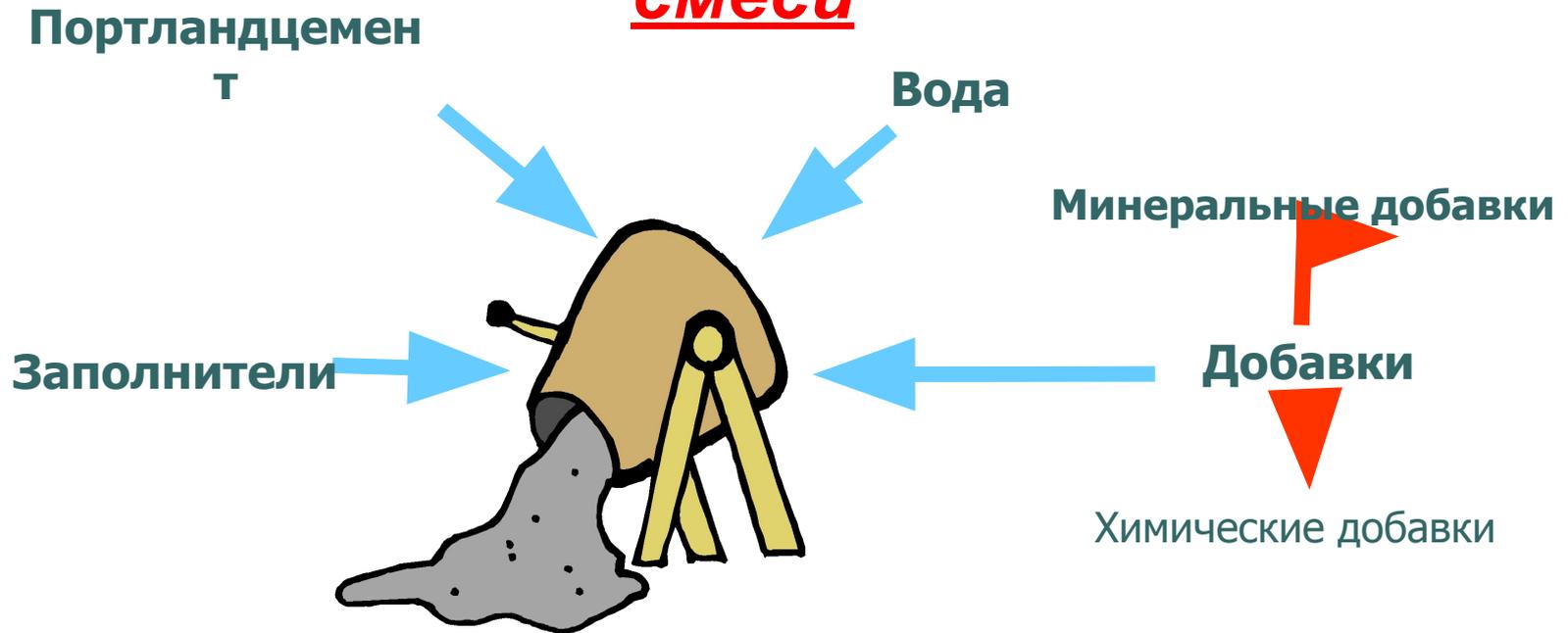


Зерновой состав, %, крупного
заполнителя

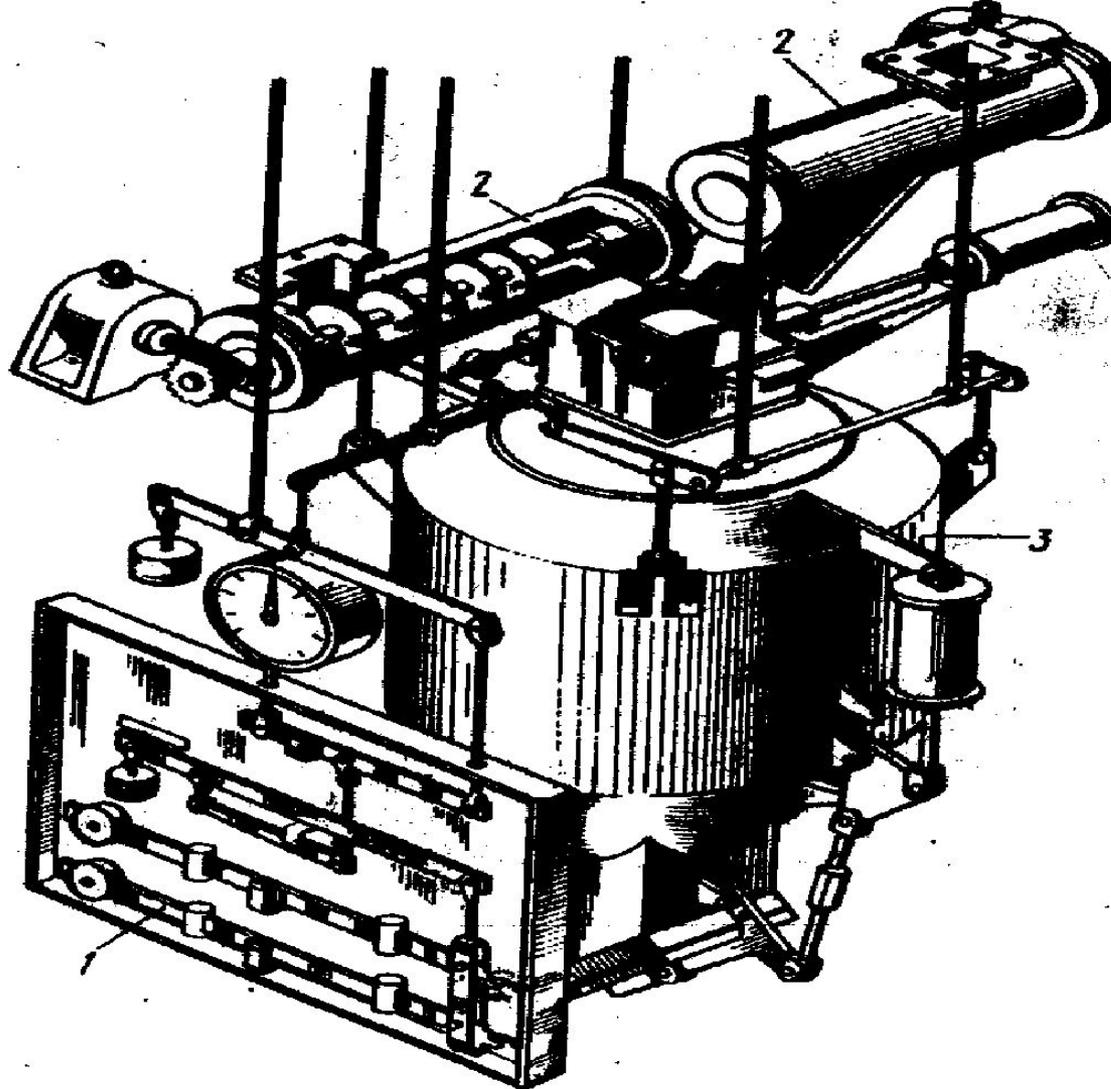
Наибольшая крупность заполнителя, мм	Размер фракций, мм				
	5-10	10-20	20-40	40-70	70-120
20	25-40	60-75	-	-	-
40	15-25	20-35	40-65	-	-
70	10-20	15-25	20-35	35-55	-
120	5-10	10-20	15-25	20-30	30-40

- 
- Морозостойкость крупных заполнителей должна обеспечить получение бетона требуемой марки по морозостойкости. Для бетона гидротехнических сооружений морозостойкость щебня гравия должна быть более 100-300 в зависимости от среднемесячной температуры наиболее холодного месяца.
 - Щебень высшей категории качества для бетона должен иметь марку по морозостойкости не ниже F 25.
 - Шлаковый щебень получают дроблением шлака, который образуется в процессе доменной плавки металлов (доменный шлак) или при сжигании минерального топлива (топливный шлак).
 - По морозостойкости щебень подразделяется на шесть классов от F15 до F200. Щебень марки Др15 используют для бетонов высокой прочности (40 МПа и выше), а щебень марок Др25 и менее используется для бетона прочности 30 МПа и менее.
 - Шлаковый щебень используют в бетонных и железобетонных сооружениях гражданских и промышленных зданий, не рекомендуется его применение в конструкциях, эксплуатирующихся в проточных водах.

3. Приготовление и транспортирование бетонной смеси



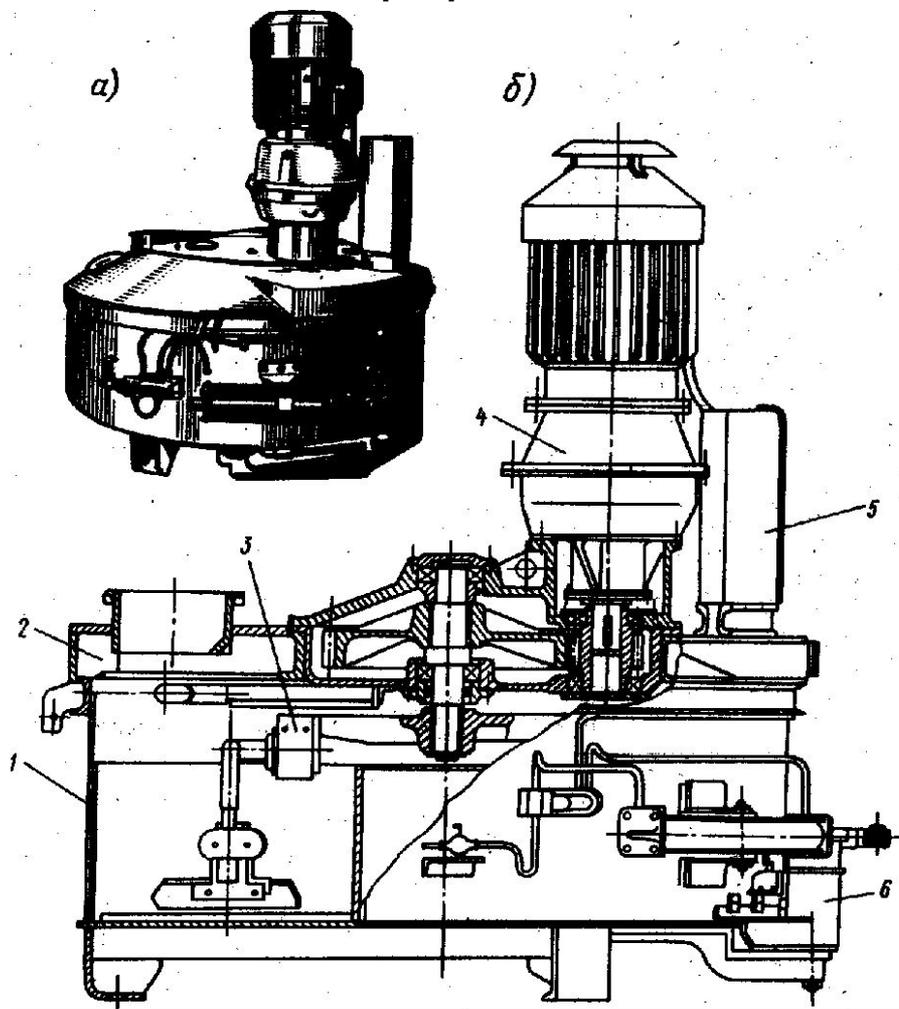
- Приготовление бетонной смеси включает две основные технологические операции: *дозировку исходных материалов и их перемешивание*. Дозирование материалов производят дозаторами периодического или непрерывного действия.



Автоматический дозатор по массе для заполнителей:

1 - автоматические весы; 2 - бункер; 3 - приемная воронка; 4 - выпускной затвор днища.

- ▣ Перемешивание бетонной смеси производят в бетоносмесителях периодического и непрерывного действия. В бетоносмесителях периодического действия рабочие циклы машины протекают с перерывами.



Бетоносмеситель С-773а:

а - общий вид;

б - конструктивная схема;

1 - чаша;

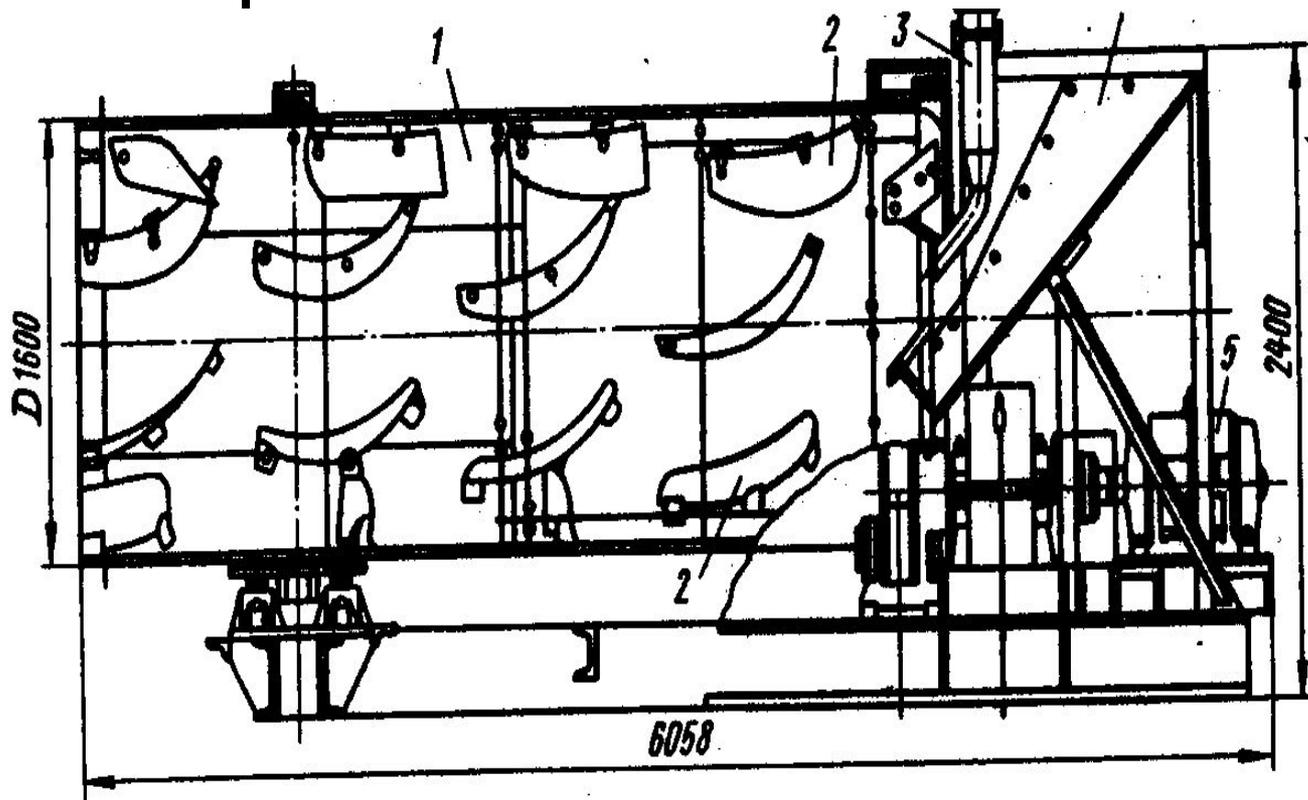
2 - рама;

3 - смесительное устройство;

4 - мотор-редуктор;

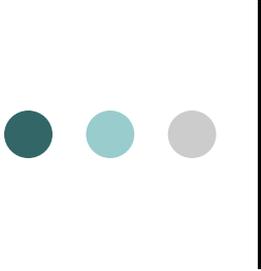
5 - электрооборудование;

6 - затвор.



□ **Бетоносмеситель непрерывного действия СМ-314:**

- 1 - смесительный барабан;
- 2 - лопасти;
- 3 - воронка для подачи воды;
- 4 - воронки для загрузки компонентов;
- 5 - электродвигатель с редуктором.

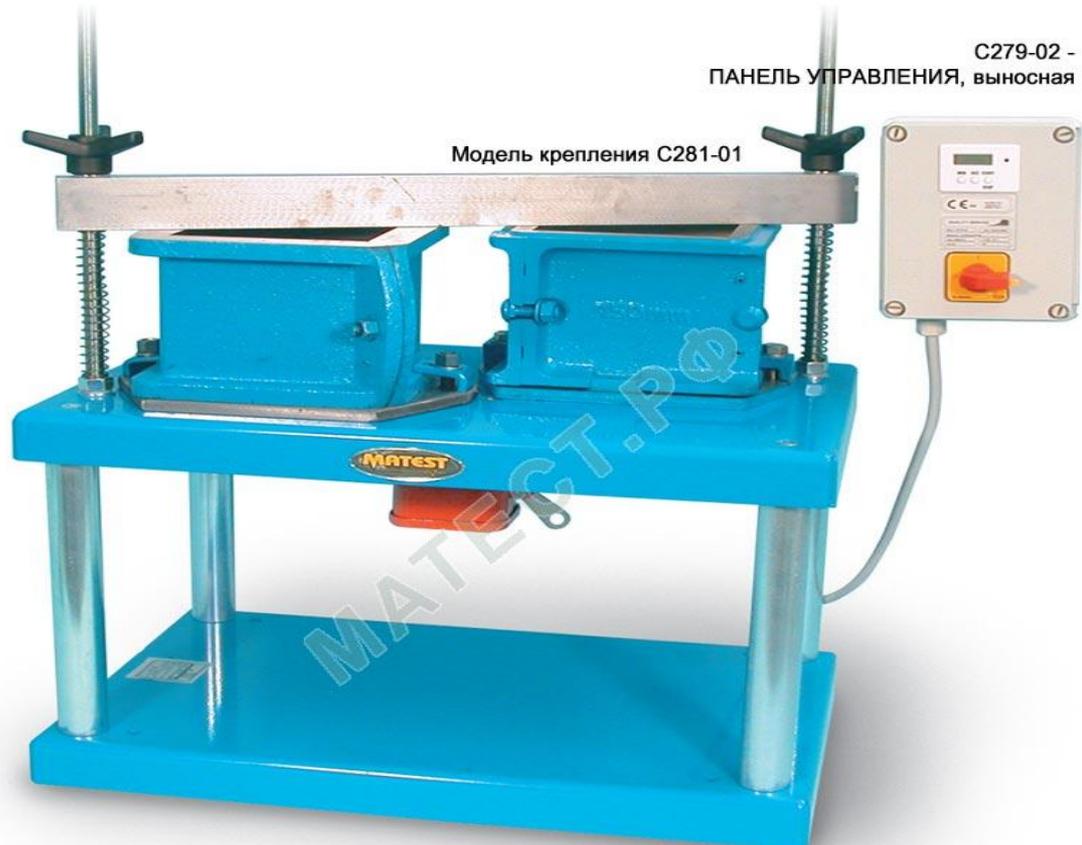
- 
- В настоящее время ведутся работы по **струйному перемешиванию** бетонной смеси, заключающемуся в интенсивном взаимодействии ее составляющих в турбулентных потоках псевдокипящего слоя, создаваемых энергосмесителями. К ним относятся сжатый воздух с давлением 0,3 МПа и перегретый пар с температурой 85-95°С, подаваемые в специальный струйный смеситель.
 - В технологию приготовления бетонной смеси начинает внедряться **перемешивание с нагреванием смеси**. Суть этого метода состоит в том, что разогрев бетонной смеси до 60-65°С производят паром, подаваемым в смеситель в процессе ее перемешивания. Такое нагревание происходит равномерно, проще и во много раз быстрее, чем при предварительном нагреве вод и заполнителей, а также электроразогреве смеси.

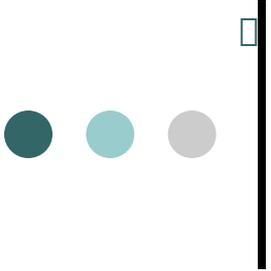
4. Укладка бетонной смеси. Уход за бетоном и контроль качества

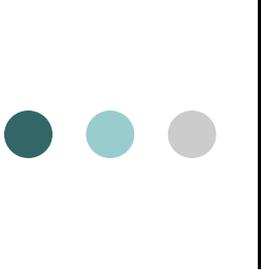
- Укладка бетонной смеси и ее уплотнение - наиболее трудоемкие и энергоемкие операции. Эти операции выполняются с помощью *бетоноукладчиков* или более простых машин - *бетонораздатчиков*.
- Наиболее распространенным видом уплотнения бетонной смеси является вибрирование.
- **Глубинные вибраторы** применяют при уплотнении бетонной смеси в массивных конструкциях большой глубины (толщины).

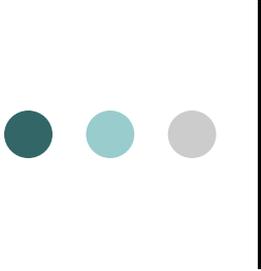


- Для формирования сборных железобетонных изделий используют **стационарные виброплощадки** различной грузоподъемности, собираемые из однотипных унифицированных виброблоков. Виброплощадки изготавливают с различными режимами работы; одночастотным с гармоническими вертикальными колебаниями, двухчастотным, виброударным и др.



- 
- На практике часто используют комбинированные способы уплотнения бетонной смеси. Так, при формировании железобетонных изделий из жестких и малоподвижных смесей применяют *вибрирование под нагрузкой*.
 - При центробежном способе формирования для уплотнения бетонной смеси используют *центробежную силу*, возникающую при вращении формы. Частота вращения 400-900 об/мин, при этом бетонная смесь равномерно распределяется по стенкам формы и хорошо уплотняется. Такой способ формирования применяют при изготовлении труб, полых колонн, опор и т.п.
 - Повысить качество бетона можно *вакуумированием* смеси, при этом из бетонной смеси извлекается часть избыточной воды и воздуха, одновременно под действием атмосферного давления бетонная смесь уплотняется, ускоряется твердение и повышается прочность бетона.

- 
- Бетон при нормальных условиях постепенно набирает свою прочность и к **28 сут приобретает марочную прочность**, причем в первые 3-7сут прочность бетона растет более интенсивно и на 7-е сутки составляет 70% марочной (проектной) прочности.
 - В заводской технологии применяют ускоренные методы твердения - тепловую обработку при обязательном сохранении влажности изделий. На заводах сборного железобетона чаще всего применяют прогрев изделий при атмосферном давлении в паровоздушной среде с температурой 80-85оС или выдерживание в среде насыщенного пара при 100°С.
 - На заводах сборного железобетона применяют также и другие способы тепловой обработки изделий: электропрогрев, контактный обогрев, обогрев в газовой среде и др.



5. Свойства бетонной смеси и структурообразование бетона

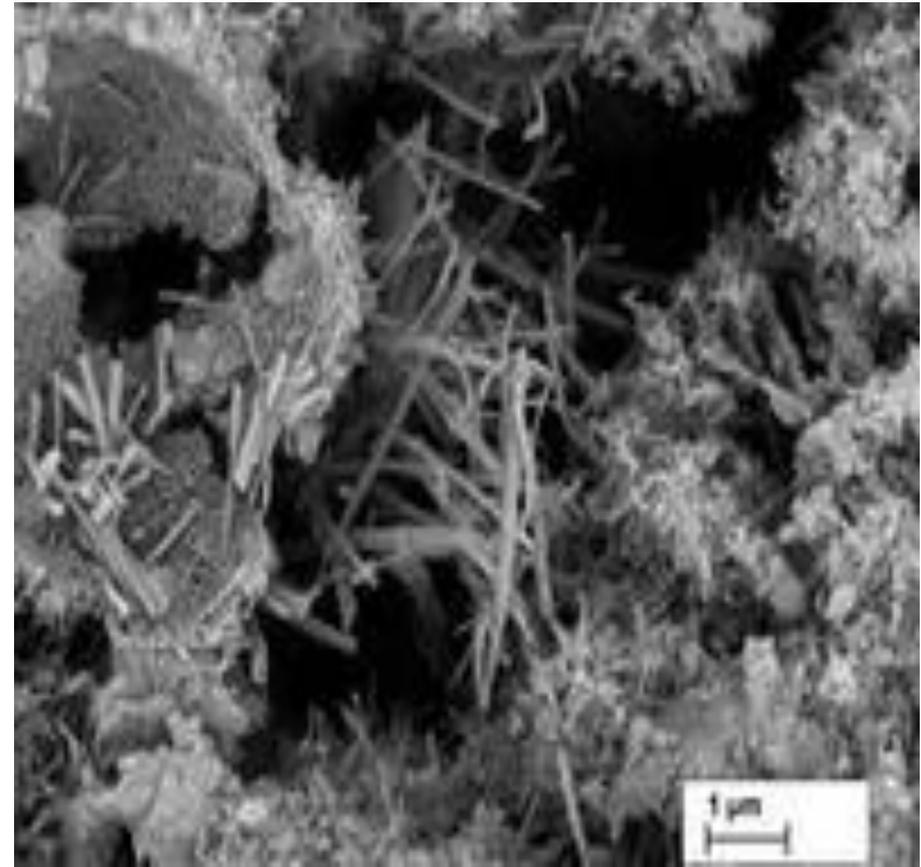
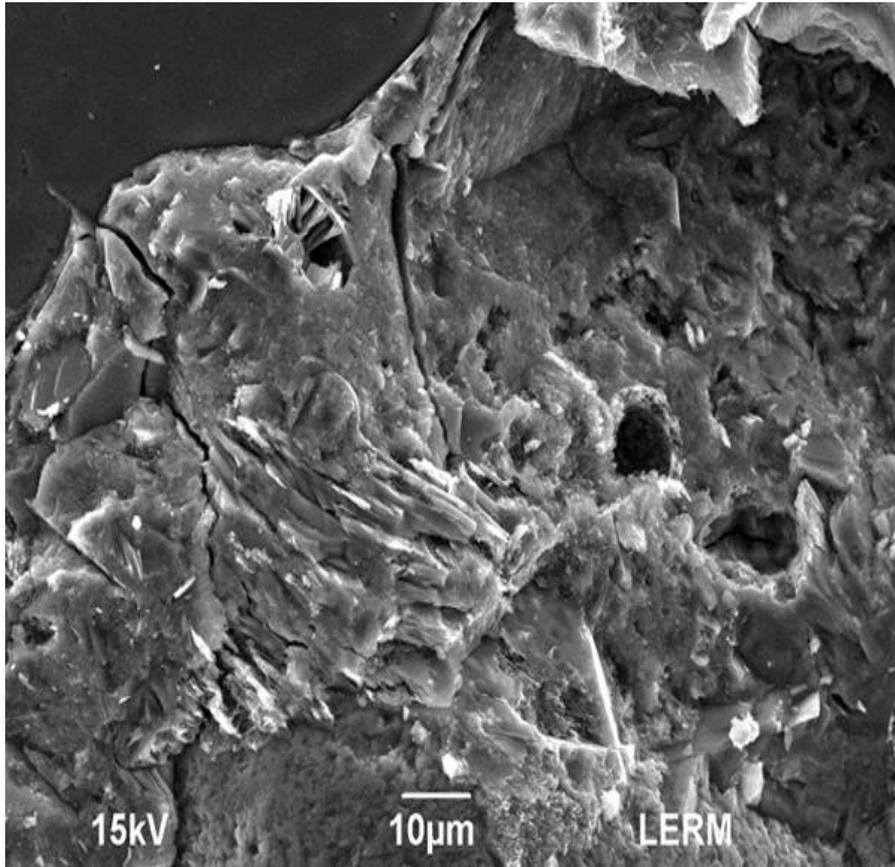
- Бетонная смесь представляет собой сложную многокомпонентную систему, состоящую из новообразований, образовавшихся при взаимодействии вяжущего с водой, непрореагировавших частиц клинкера, заполнителя, воды, вводимых специальных добавок и вовлеченного воздуха. Ввиду наличия сил взаимодействия между дисперсными частицами твердой фазы и воды эта система приобретает связанность и может рассматриваться как единое физическое тело с определенными реологическими, физическими и механическими свойствами.
- Определяющее влияние на эти свойства будут оказывать количество и качество цементного теста, которое, являясь дисперсной системой, имеет высокоразвитую поверхность раздела твердой и жидкой фаз, что способствует развитию сил молекулярного сцепления и повышению связности системы.

▮ *Подвижность бетонной смеси* - способность ее растекаться под собственной силой тяжести.

▮ На подвижность бетонной смеси влияет ряд факторов: вид цемента, содержание воды и цементного теста, крупность заполнителей, форма зерен, содержание песка. Бетонные смеси одного и того же состава, но на разных цементах обладают разной водопотребностью. Чем она выше, тем меньше подвижность или больше жесткость смеси.

Смесь	Подвижность, см	Жесткость, с
Особожесткая	0	Более 30
Жесткая	0	5-30
Малоподвижная	1-4	-
Подвижная	4-15	-
Литая	Более 15	-

- ▣ *Макроструктура* представляет строение системы *песок - цементный камень*, микроструктура - тонкое строение цементного камня. Микроструктура цементного камня в бетоне состоит из новообразований, не прореагировавших зерен цемента и микропор.



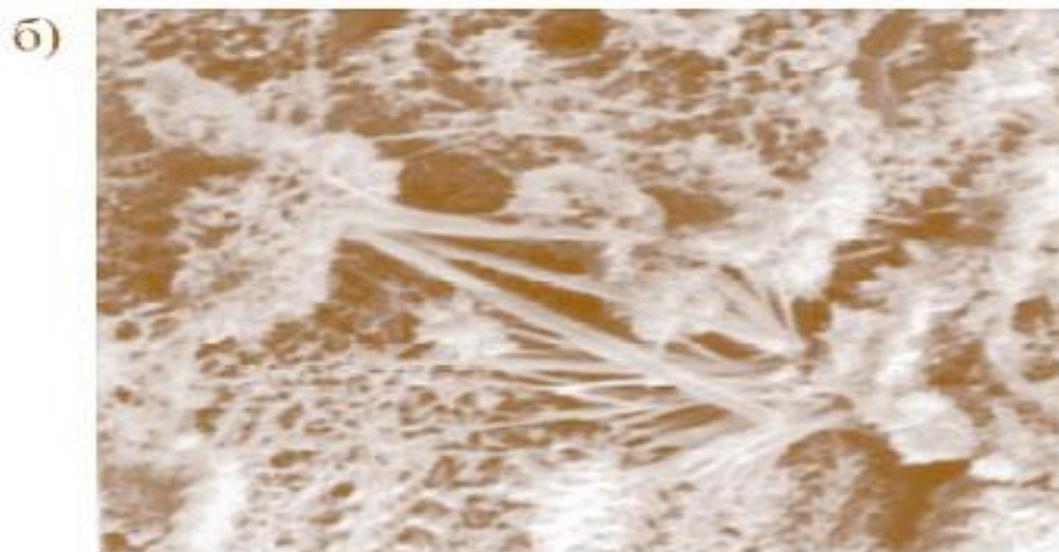
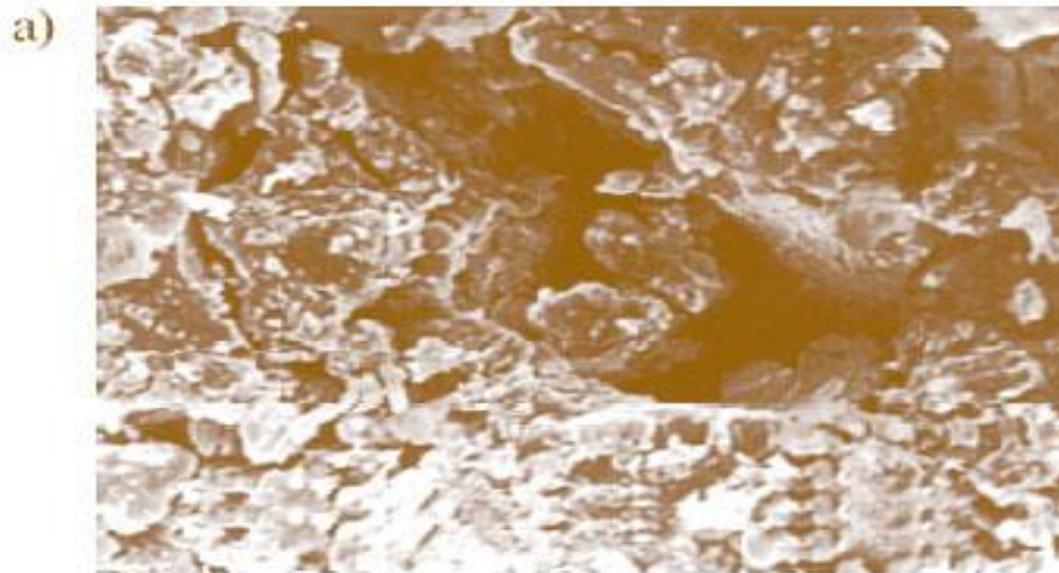
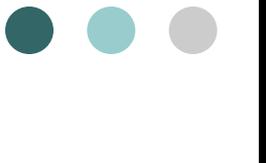
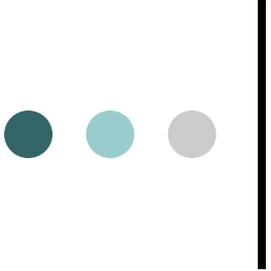


Рис. 2. Микроструктура бетона:
а) не обработанного
б) обработанного герметиком

- 
- Для твердения бетона необходима теплая и влажная среда. При повышенной температуре и влажной среде твердение протекает значительно быстрее, чем в нормальных условиях.
 - Твердение бетона при температуре ниже 15°C замедляется, а при температуре ниже 0°C практически прекращается.

6. Свойства бетона

- Прочность бетона при сжатии зависит от активности цемента, водоцементного отношения, качества заполнителей, степени уплотнения бетонной смеси и условий твердения.

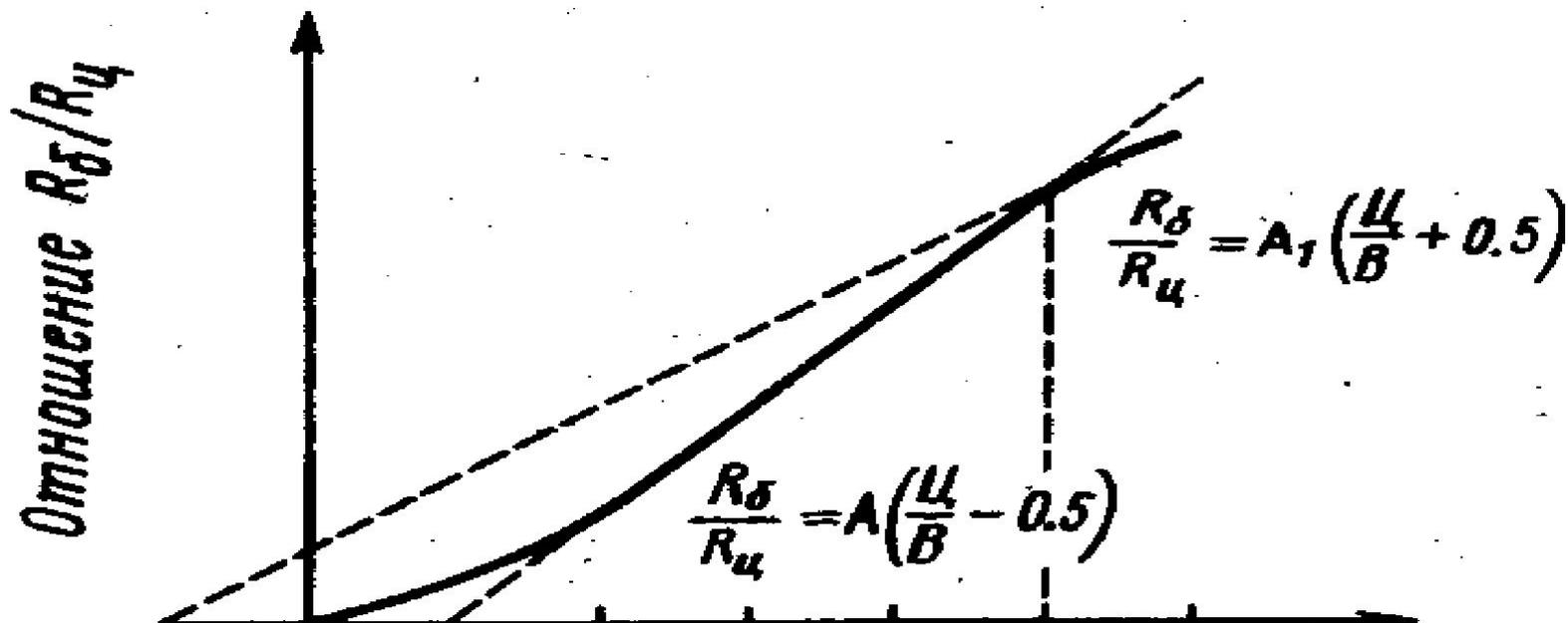
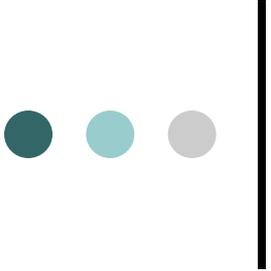
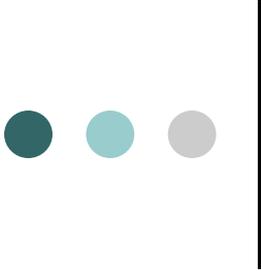


График зависимости прочности бетона от водоцементного отношения (Ц/В)

- 
- На скорость твердения бетона влияют минералогический состав цемента и начальное количество воды в бетонной смеси. Жесткие бетонные смеси (с низким содержанием воды) обеспечивают более быстрое твердение бетона, чем подвижные.
 - При нормальных условиях хранения средняя прочность бетонных образцов в 7-суточном возрасте составляет 60-70% прочности 28-суточных образцов, в 3-месячном возрасте - на 25%, а в 12-месячном - на 75% выше, чем у образцов в 28-суточном возрасте.
 - Прочность бетона со временем изменяется примерно по логарифмическому закону; исходя из этого при расчетах прочности бетона Для разных сроков пользуются формулой:
 - $R_n = R_{28} \lg n / \lg 28$
 - где R_n - прочность бетона в возрасте суток, Па; R_{28} - прочность бетона в возрасте 28 сут. Па.
 - Эта формула применима для ориентировочных расчетов прочности бетона на портландцементных средних марок в возрасте более 3 сут. Действительную прочность бетона в конструкциях устанавливают только испытанием контрольных образцов, приготовленных из рабочей бетонной смеси.

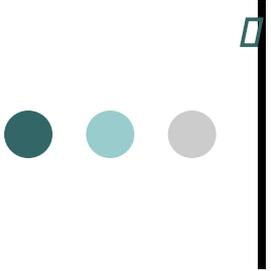
- 
- Качество бетона по прочности характеризуется его классом (маркой), который определяется величиной предела прочности при сжатии образцов-кубов с ребром 150 мм, изготовленных из рабочей бетонной смеси после твердения их в течение 28 сут в нормальных условиях (МПа).
 - Тяжелые бетоны подразделяв на классы (марки)
 - **V7,5(100); V12,5(150); V15(200); V25(300); V30(400); V40(500); V45(600).**
 - Превышение класса (марки) бетона от заданной проектной прочности свыше 15% не допускается, так как это влечет перерасход цемента.
 - Качество бетона нельзя достаточно полно оценить по средней прочности или марке. На практике имеет место отклонение от этой величины.



▣ **Водопроницаемость** бетона характеризуется небольшим давлением воды, при котором она еще не просачивается через образец. Плотный бетон при мелкопористой структуре и достаточной толщине конструкции оказывается практически водонепроницаемым. По водонепроницаемости бетон делят на шесть марок:

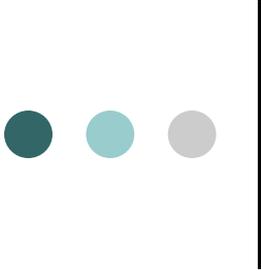
W2, W4, W6, W8, W10 и W12,

выдерживающих соответственно давление 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 и 1,2 МПа. В более тонких конструкциях добиваются высокой водонепроницаемости бетона использованием гидрофобного цемента, а также применением водоизоляционных покрытий, наносимых на поверхность пневматическим способом (торкретированием).



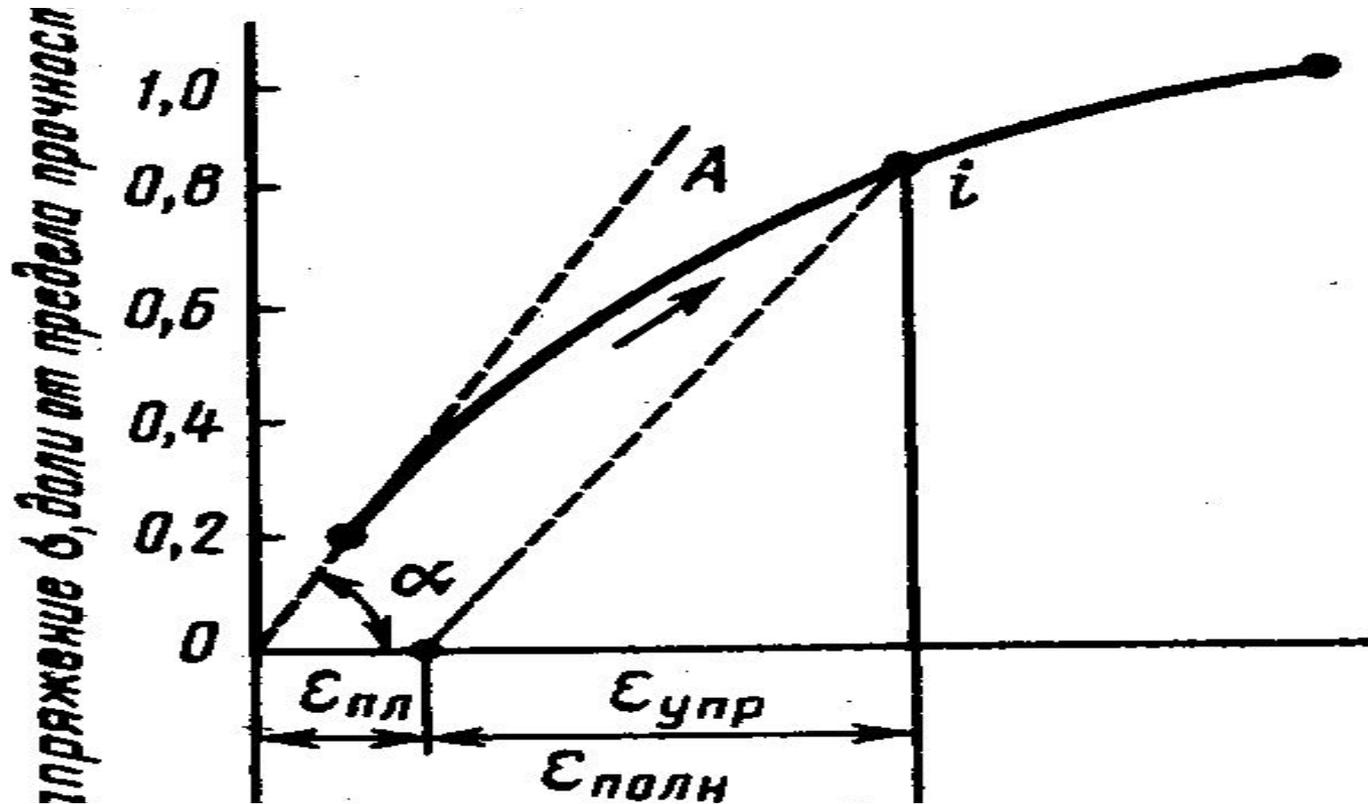
Морозостойкость бетона характеризуется наибольшим числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые способны выдерживать образцы 28-суточного возраста без снижения предела прочности при сжатии более чем на 25% и без потери в массе более 5%. Морозостойкость является одним из главных требований, предъявляемых к бетону гидротехнических сооружений, дорожных покрытий, опор мостов и других подобных конструкций. Для конструкций, подверженных в увлажненном состоянии попеременному замораживанию и оттаиванию, установлены следующие марки по морозостойкости:

- ▣ **F50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600.**
- ▣ Марку бетона по морозостойкости выбирают в зависимости от климатических условий. Морозостойкими оказываются, как правило, бетоны высокой плотности.

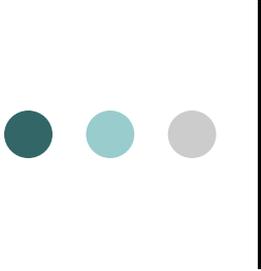


▣ **Бетон под нагрузкой** ведет себя иначе, чем сталь и другие упругие материалы. Область упругой работы бетона идет от начала нагружения до напряжения сжатия, при котором по границе сцепления цементного камня с заполнителем образуются микротрещины, при дальнейшем нагружении микротрещины образуются уже в цементном камне и возникают пластические неупругие деформации бетона. Развитию пластических деформаций способствует также гелевая составляющая цементного камня. Бетон ведет себя как упруговязкопластическое тело.

- При небольших напряжениях и кратковременном нагружении для бетона характерна упругая деформация. Если напряжение превосходит 0,2 от предела прочности, то наблюдается заметная остаточная деформация.



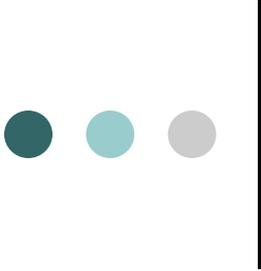
Кривая “напряжение-деформация” бетона

- 
- ▣ **Ползучесть** - явление увеличения деформаций бетона времени при действии постоянной нагрузки. Полная относительная деформация бетона при длительном действии нагрузки складывается из его начальной упругой и пластической деформации ползучести. При растяжении бетона она в 1,5 раза выше, чем при сжатии.
 - ▣ В процессе твердения происходят **объемные изменения бетона**. Твердение бетона на воздухе, за исключением бетонов на безусадочном и расширяющемся цементе, сопровождается уменьшением объема, т. е. усадкой. При твердении бетона в воде вначале объем его несколько увеличивается и в воздушно-сухих условиях бетон дает усадку. Значительную усадку имеют бетоны из жидких смесей. Наибольшая усадка в бетоне происходит в начальный период твердения - за первые сутки она составляет до 60-70% от месячной усадки. Объясняется это тем, что в результате обезвоживания частицы сближаются между собой и цементный камень дает усадку.

7. Проектирование состава бетона

- Проектирование состава имеет цель установить такой расход материалов на 1 м³ бетонной смеси, при котором наиболее экономично обеспечивается получение удобоукладываемой бетонной смеси и заданной прочности бетона, а в ряде случаев необходимой морозостойкости, водонепроницаемости и специальных свойств бетона.
- Состав бетонной смеси выражают в виде соотношения по массе (реже по объему) между количествами цемента, песка и щебня (или гравия) с указанием водоцементного отношения. Количество цемента принимают за единицу. Поэтому в общем виде состав бетонной смеси выражают соотношением цемент:песок:щебень==1:x:y при В/Ц=2 (например, 1:2,4:4,5 при В/Ц = 0,45).
- К моменту расчета состава бетонной смеси нужно определить качество исходных материалов: цемента, воды, песка и щебня (гравия) - согласно требованиям ДСТУ.
- Состав тяжелого бетона рассчитывают по методу “абсолютных объемов”, разработанному проф. Б.Г. Скрамтаевым и его школой. В основу этого метода положено условие, что тяжелый бетон, уплотненный в свежем состоянии, приближается к абсолютной плотности, т. е. сумма абсолютных объемов исходных материалов в 1 м³ равна объему уплотненной бетонной смеси.

- 
- Состав бетонной смеси, т. е. количество цемента, воды, песка и щебня (гравия), вначале устанавливают ориентировочно методом расчета, а затем уточняют испытанием пробных замесов бетонной смеси.
 - Определение цементно-водного отношения производят по следующим формулам: для бетонов с $C/B \leq 2,5$;
 - $R_b = A R_c (C/B - 0,5)$,
 - и для бетонов $C/B \geq 2,5$
 - $R_b = A_1 R_c (C/B + 0,5)$,
 - Определение расхода воды. Оптимальное количество воды бетонной смеси (водосодержание, л/м³) должно обеспечивать необходимую подвижность (или жесткость) бетонной смеси. Количество воды выбирают по таблице 1 в зависимости от максимальной крупности щебня и удобоукладываемости бетонной смеси.
 - Определение расхода цемента. При определенном из формул значении C/B и принятой водопотребности бетонной смеси V рассчитывают ориентировочный расход цемента, кг/м³ бетона:
 - $C = (C/B) * V$.
 - Расход цемента на 1 м³ бетона должен быть не менее минимального. Если расход цемента на 1 м³ бетона окажется ниже допустимого, то необходимо довести его до нормы или ввести тонкомолотую добавку.



- Определение расхода заполнителей (песка и щебня или гравия) на 1 м³ бетона. Для определения расхода песка и щебня (гравия) задаются двумя условиями:

- 1) сумма абсолютных объемов всех составных частей бетона (л) равна 1 м³ (1000 л) уплотненной бетонной смеси:

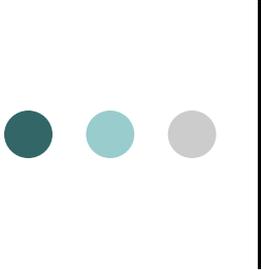
- $$\frac{Ц}{\rho_c} + \frac{В}{\rho_v} + \frac{П}{\rho_p} + \frac{Щ}{\rho_{щ}}$$

- где Ц, В, П, Щ - содержание цемента, воды, песка и щебня (гравия), кг/м³, ρ_c , ρ_v , ρ_p , $\rho_{щ}$ - плотности этих материалае кг/м³;

- 2) цементно-песчаный раствор заполнит пустоты в крупном заполнителе с некоторой раздвижкой зерен:

- $$\frac{Щ}{V} = \frac{1000}{\alpha \cdot \rho_{нщ} + \rho_{щ}}$$

- где V - пустотность щебня или гравия в стандартном рыхлом состоянии (в формулу подставляется в виде относительной величины); α - коэффициент раздвижки зерен щебня (или избытка раствора); для жестких смесей $\alpha = 1,05-1,20$, для подвижных смесей $\alpha = 1,2-1,4$ и более; $\rho_{нщ}$ - насыпная плотность щебня, кг/л; $\rho_{щ}$ - плотность щебня (гравия), кг/л.

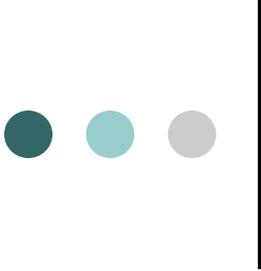
- 
- После определения расхода щебня или гравия рассчитывают расход песка (кг/м³) как разность между проектным объемом бетонной смеси и суммой абсолютных объемов крупного заполнителя, цемента и воды:
 - $P = [1000 - (C/\rho_c + V/\rho_v + \Sigma/\rho_{\Sigma})] \cdot \rho_p$

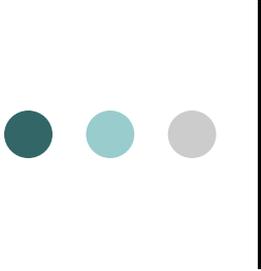
 - Если гравий или щебень составляют из нескольких фракций, то необходимо заранее установить оптимальное - соотношение между ними, пользуясь графиком наилучшего зернового состава или подбирая смесь с минимальным количеством пустот.

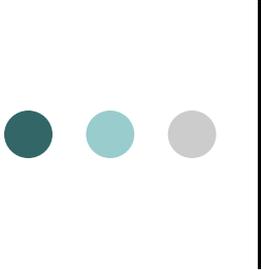
 - Проверка подвижности бетонной смеси. После произведенного предварительного расчета состава бетона делают пробный замес и определяют осадку конуса или жесткость. Если бетонная смесь получилась менее подвижной, чем требуется, то увеличивают количество цемента и воды без изменения цементно-водного отношения. Если подвижность будет больше требуемой, то добавляют небольшими порциями песок и крупный заполнитель, сохраняя соотношения их постоянными. Таким путем добиваются заданной подвижности бетонной смеси.

8. Специальные виды тяжелых бетонов

- ▣ **Высокопрочный бетон** прочностью 60-100 МПа получают на основе цемента высоких марок, промытого песка и щебня прочностью не ниже 100 МПа. Высокопрочный бетон готовят с низким $V/C=0,3-0,35$ (смеси жесткие или малоподвижные) в бетоносмесителях принудительного действия. Для укладки смесей и формования изделий используют интенсивное уплотнение. Значительный эффект в производстве высокопрочных бетонов дают суперпластификаторы.
- ▣ Высокопрочные бетоны бывают, как правило, и быстротвердеющими, однако для достижения отпускной прочности изделий в короткие сроки применяют тепловую обработку по сокращенному режиму. Новые особо быстротвердеющие цементы позволяют получать изделия из бетона без тепловой обработки.
- ▣ Тяжелый бетон имеет высокую прочность на растяжение, изгиб и морозостойкость.

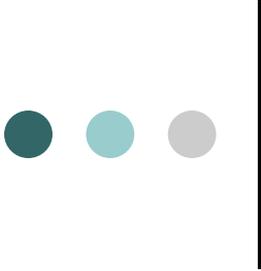
- 
- ▣ **Мелкозернистый бетон** отличается большим содержанием цементного камня, поэтому его усадка и ползучесть несколько выше. Применяют его при изготовлении тонкостенных, в том числе армоцементных конструкций; а также в тех случаях, когда отсутствует крупный заполнитель. Свойства мелкозернистого бетона характеризуются такими же факторами, как и обычного бетона. Однако отсутствие крупного заполнителя влечет за собой увеличение водопотребности бетонной смеси, а для получения равнопрочного бетона и равноподвижной смеси возрастает расход цемента на 20-40%.
 - ▣ Для сокращения расхода цемента необходимо применять высококачественные пески, пластифицирующие добавки, суперпластификаторы, производить хорошее уплотнение смеси.
 - ▣ Мелкозернистый бетон обладает повышенной прочностью на изгиб, хорошей водонепроницаемостью и морозостойкостью.

- 
- ▣ **Кислотоупорный бетон** получают на кислотоупорном цементе и кислотоупорных заполнителях. Затворяют бетонную смесь растворимым стеклом в количестве, обеспечивающем необходимую подвижность бетонной смеси. Для изготовления кислотоупорного бетона, обладающего стойкостью при действии неорганических кислот, применяют смесь растворимого стекла (силиката натрия) с 15% кремнефтористого натрия Na_2SiF_6 , а также песок кварцевый, щебень из андезита или кварцита и пылевидную фракцию (мельче 0,15 мм) приготовляемую из кислотостойких материалов.
 - ▣ Кислотоупорный бетон характеризуется прочным сцеплением со стальной арматурой, стойкостью по отношению к действию серной, соляной, азотной кислот и др. (за исключением плавиковой).
 - ▣ Кислотоупорный бетон используют для различных конструкций и облицовки аппаратуры в химической промышленности, заменяя им дорогие материалы: листовой свинец, кислотоупорную, керамику, тесаный камень.

- 
- ▣ **Жаростойкий бетон** способен сохранять в заданных пределах свои физико-механические свойства при длительном воздействии высоких температур. В зависимости от применяемого вяжущего жаростойкие бетоны бывают следующих видов: бетоны на портландцементе, шлакопортландцемент, на глиноземистом цементе и жидком стекле. Для повышения стойкости бетона при нагревании в его состав вводят тонкомолотые добавки из хромитовой руды, шамотного боя, магнезитового кирпича, андезита, гранулированного доменного шлака и др.
 - ▣ При правильно выбранных вяжущих и заполнителях бетон может длительное время выдерживать, не разрушаясь, действие температуры до 1200°C.
 - ▣ Выбор материалов производят в зависимости от условий и температуры его эксплуатации.
 - ▣ Жаростойкие бетоны на портландцементе и глиноземистом цементе производят класса (марки) не менее В20 (250), а на жидком стекле- В 12,5 (150). Бетоны на жидком стекле не применяют в условиях частого воздействия воды, а на портландцементе - в условиях кислой агрессивной среды.

- **Декоративные бетоны** получают при введении в бетонную смесь щелоче- и светостойких пигментов в количестве 8-10% от массы цемента (охра, мумия, сурик и др.) или применении цветных цементов. В отдельных случаях используют заполнители обладающие необходимым цветом, например туфы, краев кварциты, мрамор и другие окрашенные горные породы.
- Цветные бетоны используют для декоративных целей в строительстве зданий и сооружений, при устройстве пешеходных переходов, разделительных полос на дорожных покрытиях, парковых дорожек, а также изготовлении элементов городского благоустройства.

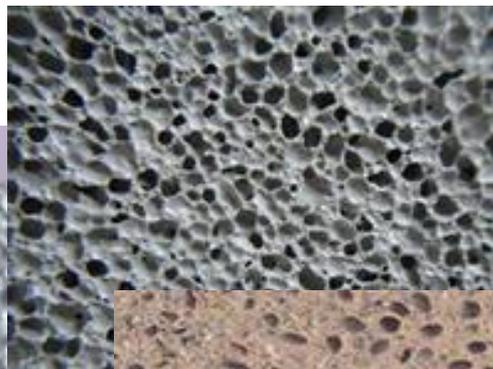
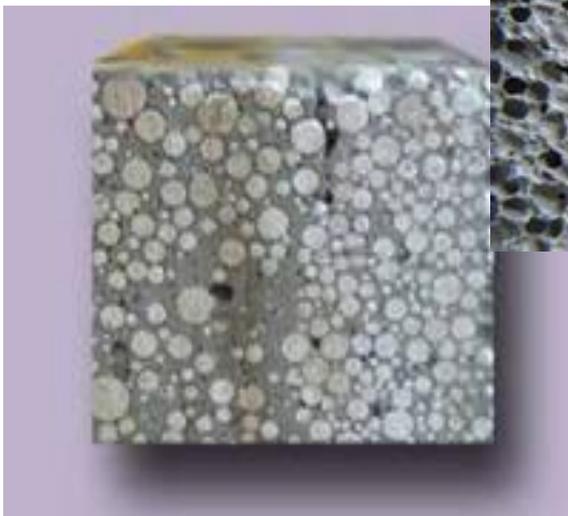


- 
- ▣ **Бетон для дорожных и аэродромных покрытий.** Он многократно подвергается увлажнению и высыханию, замораживанию и оттаиванию, а также воздействию транспортных средств. Основными расчетными напряжениями являются напряжения от изгиба. В связи с этим к дорожному бетону предъявляют повышенные требования к прочности на растяжение при изгибе, морозостойкости, износостойкости и воздухоустойкости.
 - ▣ Долговечность дорожного бетона достигается не только выбором качественных материалов, но и правильной технологией производства. Для дорожного бетона применяют портландцемент высоких марок с ограниченным содержанием СзА, высокопрочные качественные заполнители - щебень из гранита, известняка, кварцевый песок и др. Для увеличения подвижности бетонной смеси меняют пластифицирующие и воздухововлекающие добавки и ускорители твердения.

- 
- ▣ **Бетон для защиты от радиоактивного воздействия.** В качестве заполнителей для такого бетона применяют материалы с высокой плотностью - барит, магнетит, лимонит, а также металлический скрап в виде чугунной дроби, обрезков арматурного полосового и профильного металла, металлической стружки и др. Плотность защитных особо тяжелых бетонов зависит от вида заполнителя и его плотности.
 - ▣ В качестве вяжущих для особо тяжелых защитных бетонов применяют портландцементы, шлакопортландцементы и глиноземистые цементы. В специальных бетонах наиболее эффективным вяжущим может быть гидросульфоалюминат кальция, который образуется при взаимодействии трехкальциевого алюмината, содержащегося в портландцементе, с гипсом. Поэтому один из видов цемента специального назначения содержит повышенное количество трехкальциевого алюмината и гипса. Для предупреждения самопроизвольного разрушения к нему добавляют гидравлические добавки (трепел, диатомит и др.). Кроме портландцемента применяют также глиноземистые, расширяющиеся и безусадочные цементы.
 - ▣ Для улучшения защитных свойств гидратных бетонов (такое название эти бетоны получили за большое содержание в них воды) вводят добавки, повышающие содержание в бетоне водорода, карбида, бора, хлористого лития, сернокислого кадмия, и другие добавки, содержащие легкие элементы - водород, литий, кадмий и борсодержащие вещества.

9. Легкие бетоны

- Легкими бетонами называют все виды бетонов, имеющие среднюю плотность в воздушно-сухом состоянии от 200 до 2000 кг/м³. Главные требования, предъявляемые к легкому бетону, - заданная средняя плотность, необходимая прочность к определенному сроку твердения и долговечность (стойкость). Характерными особенностями легкого бетона являются его пониженные средняя плотность и теплопроводность.



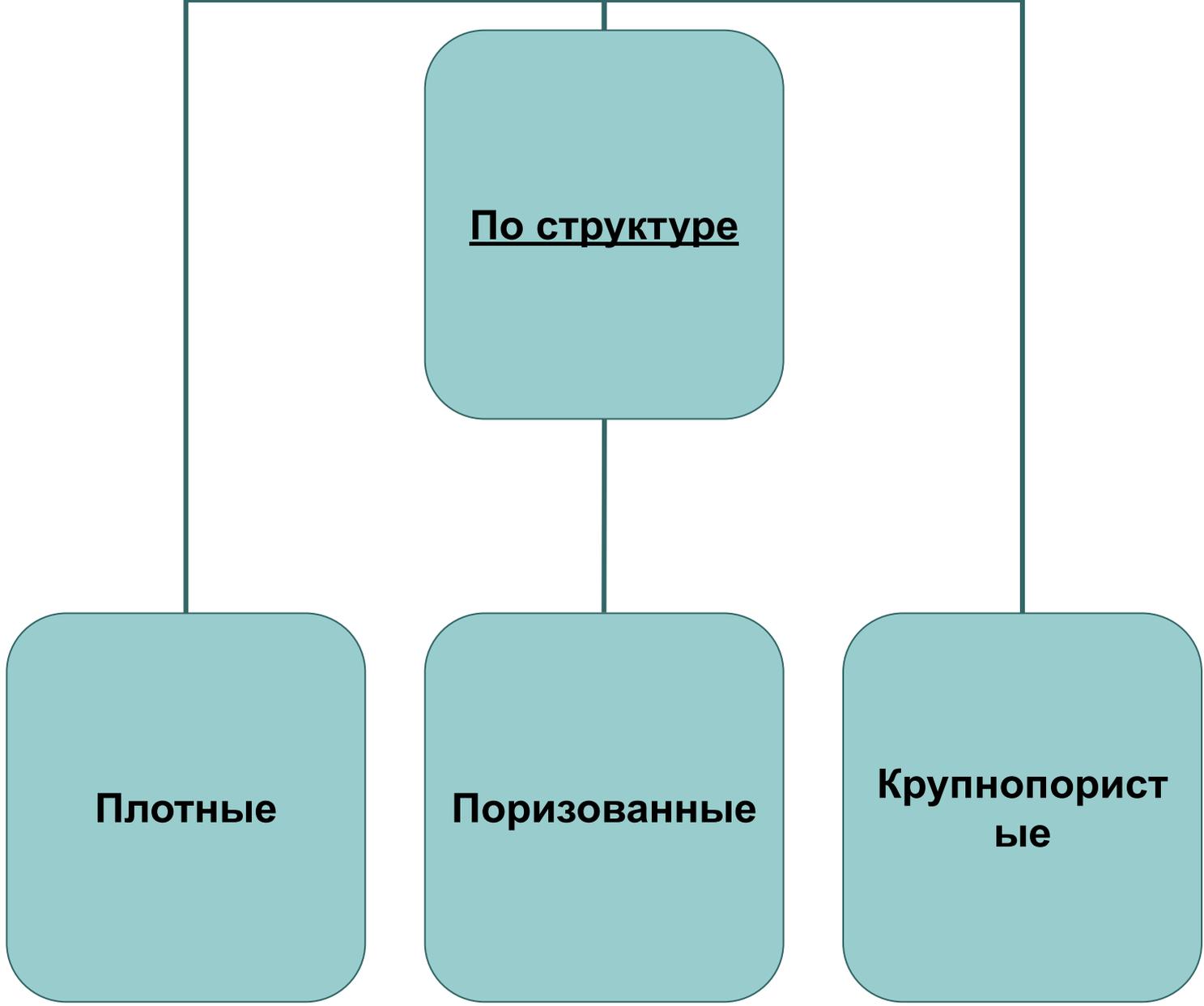
КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

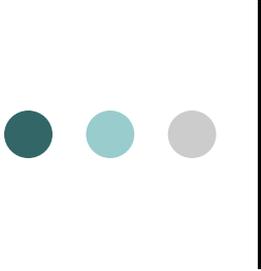
По назначению

Конструкционные

Конструкционно-теплоизоляционные

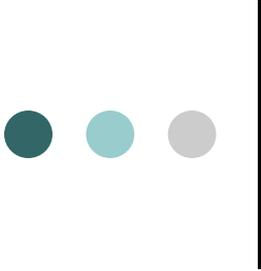
Теплоизоляционные

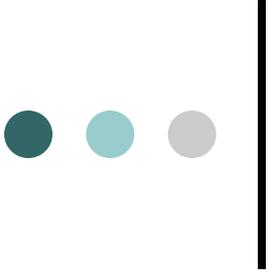


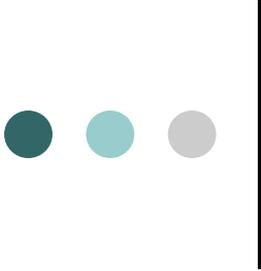


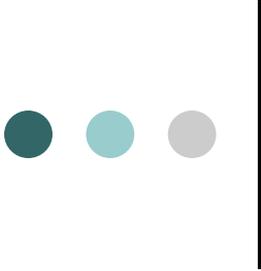
□ **По виду вяжущего** легкие бетоны могут быть на основе **цементных, известковых, шлаковых, гипсовых, полимерных и других вяжущих, обладающих специальными свойствами.**

□ **По виду крупного пористого заполнителя** установлены следующие виды легких бетонов: **керамзитобетон, шунгизитобетон, аглопоритобетон, шлакопемзобетон, перлитобетон, бетон на щебне из пористых горных пород, вермикулитобетон, шлакобетон (бетон на топливном или пористом отвальном металлургическом шлаке), бетоны на аглопоритовом или зольном гравии.**

- 
- Легкие бетоны на пористых заполнителях имеют *меньшую плотность*, чем плотные, *небольшую прочность*, обладают *сильно развитой шероховатой поверхностью*. Эти качества легкого заполнителя влияют как на свойства легкобетонных смесей, так и на свойства бетона.

- 
- Оптимальное количество воды для приготовления легких бетонов зависит главным образом от водопотребности заполнителя и вяжущего, интенсивности уплотнения смеси и др. Водопотребность заполнителя определяется зерновым составом, пористостью, и обычно чем она больше, тем больше суммарная поверхность и открытая пористость его зерен.
 - Плотность и прочность легкого бетона зависят главным образом: от насыпной плотности и зернового состава заполнителя, расхода вяжущего и воды, а также от метода уплотнения легкобетонной смеси. По качеству пористого заполнителя можно ориентировочно судить, какая прочность легкого бетона может быть получена.

- 
- Для снижения плотности бетона без уменьшения его прочности целесообразно применять высокоактивные вяжущие вещества.
 - Прочность легких бетонов зависит не только от качества цемента, но и его количества. С увеличением расхода цемента растут прочность и плотность бетона.
 - Легкие бетоны в силу своей высокой пористости менее морозостойки, чем тяжелые, но достаточно морозостойки для применения в стеновых и других конструкциях зданий и сооружений. Хорошую морозостойкость легких бетонов можно получить, применяя искусственные пористые заполнители, обладающие низким водопоглощением, например, керамзит, а также путем поризации цементного камня. Повышают морозостойкость легких бетонов также введением гидрофобизирующих добавок.

- 
- Для приготовления легких бетонов применяют портландцемент, быстротвердеющий портландцемент и шлакопортландцемент.
 - В качестве заполнителей для легких бетонов используют природные и искусственные сыпучие пористые материалы насыпной плотностью не более 1200 кг/м^3 при крупности зерен до 5 мм (песок) и не более 1000 кг/м^3 при крупности зерен 5-40 мм (щебень, гравий).
 - По происхождению пористые неорганические заполнители делят на три группы: природные, искусственные (специально изготавливаемые) и заполнители из отходов промышленности.
 - *Природные пористые заполнители* изготавливают дроблением) рассевом легких горных пород (пемзы, вулканических шлаке и туфов, пористых известняков, известняков-ракушечников известняковых туфов и др.).

▣ *Искусственные пористые заполнители* получают из отходов промышленности или путем термической обработки силикатного сырья, подвергнутых расसेву или дроблению и рассеву. К ним относятся:



а) *керамзит* и его разновидности, шунгизит, зольный гравий, глинозольный керамзит, вспученные азерит, получаемые обжигом со вспучиванием подготовленных гранул (зерен) из глинистых и песчано-глинистых пород (глин, суглинков, аргиллита, алевролита), трепелов, шунгизитосодержащих сланцев, золошлаковой смеси или золы-уноса ТЭЦ,



б) *тремолит*, получаемый при обжиге без вспучивания щебня или подготовленных гранул кремнистых опаловых пор (диатомита, трепела, опоки и др.);

в) *перлит* вспученный, получаемый при обжиге гранул из вулканических водосодержащих пород (перлита, обсидиана и других водосодержащих вулканических стекол);

г) *вермикулит* вспученный, получаемый в обжиге подготовленных зерен из природных гидратированных слюд.



- Из отходов промышленности применяют песок и щебень преимущественно из гранулированного или вспученного металлургического шлака, а также грубодисперсные золы-уносы; золошлаковые смеси ТЭЦ.





Аглопорит представляет собой искусственный пористый заполнитель с размером гранул 5-20 мм, насыпной плотностью 400-700 кг/м³ и пределом прочности 0,4-1,5 МПа. Сырьем для производства аглопорита служат глинистые породы (суглинок, супесь, аргиллит, глинистый сланец), а также отходы промышленности - глинистые отходы от добычи и обогащения углей, горелая порода, топливные шлаки, зола ТЭЦ и др.



Гравий (песок) керамзитовый - это материал округлой формы, который получают при обжиге глин. Создание пористой структуры достигается вспучиванием глинистого вещества, нагретого до пиропластического состояния газами, выделяющимися из него в процессе нагревания. Керамзитовый гравий выпускают прочностью 0,6-6 МПа, насыпной плотностью 150-800 кг/м³, средней прочностью 2,6 МПа. Керамзитовый песок получают дроблением и рассевом керамзитового гравия или как самостоятельную фракцию при обжиге.

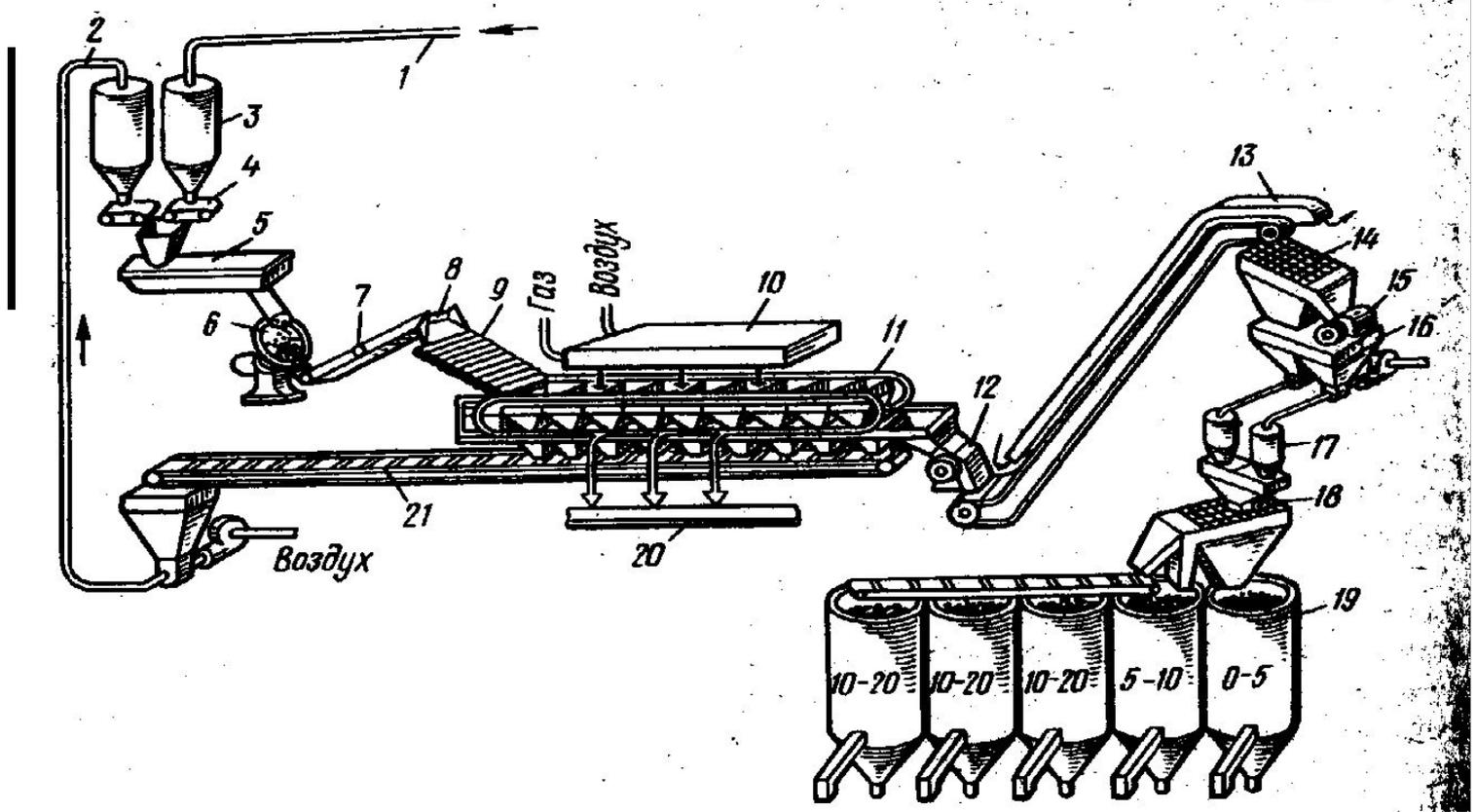
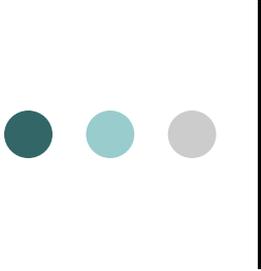


Схема производства аглопоритового гравия из золы ТЭЦ: 1 - пневмотранспорт золы; 2 - пневмотранспорт возврата; 3 - расходный бункер; 4 - дозатор; 5 - двухвальневый шнековый смеситель; 6 - тарельчатый гранулятор; 7 - ленточный конвейер; 8 - лоток; 9 - роликовый укладчик; 10 - горизонтальная ленточная обжиговая агломерационная машина; 12 - роторная дробилка; 13 - пластинчатый конвейер; 14, 18 - инерционные грохоты; 15 - двухвалковая дробилка; 16 - приемный бункер; 17 - рукавный фильтр; 19 - бункер готовой продукции; 20 - сборный коллектор для охлаждающих газов; 21 - ленточный конвейер сбора просыпи.

- 
- Основным показателем прочности легкого бетона является класс бетона установленный по прочности его на сжатие: **B2; 2,5; 3,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 17,5; 20; 22,5; 25; 30; 40**; для теплоизоляционных бетонов, кроме того, предусмотрены классы **BO,35; 0,75 и 1**.
 - По плотности легкие бетоны подразделяют на марки: **D200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900 и 2000**.
 - Теплопроводность легких бетонов зависит в основном от плотности и влажности. Увеличение влажности на 1% повышает теплопроводность на 0,016-0,035 Вт/(м°С).
 - По морозостойкости легкие бетоны делят на 10 марок: **F 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 и 500**. Для наружных стен зданий применяют бетоны с морозостойкостью не ниже F 25.

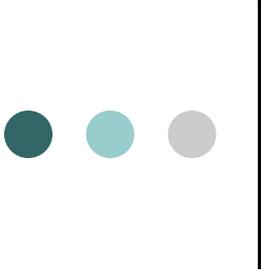
Ячеистые бетоны

- Ячеистые бетоны являются разновидностью легких бетонов с равномерно распределенными порами (до 85% от общего объема бетона); их получают в результате затвердевания предварительно вспученной порообразователем смеси вяжущего, воды и кремнеземистого компонента.

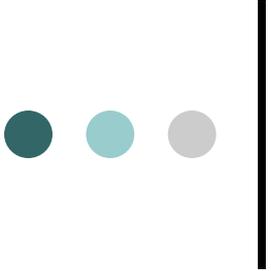


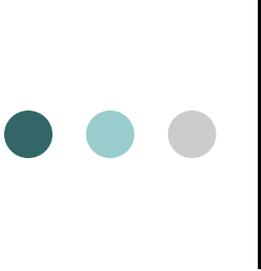
По виду применяемого вяжущего ячеистые бетоны делят на следующие группы: газобетоны, и пенобетоны, получаемые на основе портландцемента или цементно-известкового вяжущего; газосиликаты и пеносиликаты, получаемые на основе смеси извести-кипелки и кварцевого песка; газошлакобетоны и пеношлакобетоны, получаемые из смеси извести и тонкомолотых доменных гранулированных шлаков или золы-уноса.

- По условиям твердения различают ячеистые бетоны пропаренные и автоклавного твердения.

- 
- По назначению и плотности ячеистые бетоны делят на *теплоизоляционные* с плотностью в сухом состоянии до 500 кг/м^3 ; *конструктивно-теплоизоляционные* с плотностью $500-900 \text{ кг/м}^3$ и *конструкционные* с плотностью $900-1200 \text{ кг/м}^3$.
 - По показателям плотности установлено десять марок ячеистого бетона от Д300 до Д1200.
 - Ячеистые бетоны, будучи материалами весьма пористыми, отличаются низкой плотностью и соответственно относительно невысокой прочностью. Теплопроводность ячеистых бетонов изменяется $0,07-0,25 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$.

 - Для ячеистых бетонов установлены следующие марки морозостойкости: F15, 25, 35, 50 и 100.
 - В зависимости от гарантированных значений прочности ячеистого бетона на сжатие установлены следующие классы (МПа) B0,35; 0,75; 0,85; 1; 1,5; 2,5; 3,5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5 и 20.

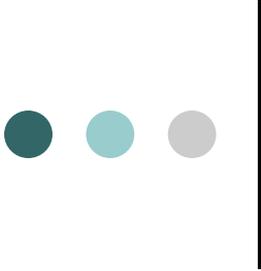
- 
- Вяжущим для приготовления ячеистых бетонов обычно служат портландцемент, молотая негашеная известь. В качестве кремнеземистого компонента используют измельченный кварцевый песок, молотые доменные шлаки и золу-унос.
 - Для образования ячеистой структуры бетона применяют пено- и газообразователи.

- 
- Блоки из ячеистых бетонов автоклавного твердения применяют для кладки наружных и внутренних стен и перегородок) жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий с относительной влажностью воздуха помещений не более 75%, а в наружных стенах при влажности более 60% должно наноситься с внутренней поверхности стен пароизоляционное покрытие. Применение блоков из ячеистых бетонов для цоколей и стен подвалов, а также стен помещений с мокрым режимом или наличием агрессивных сред не допускается.

Полимербетоны и полимерцементные бетоны

- Полимербетоны изготавливают на основе полиэфирных, эпоксидных, фенолоформальдегидных, фурановых и других полимеров. Заполнители используют в зависимости от вида агрессивной среды. Для кислых сред применяют кислотостойкие заполнители - кварцевый песок и щебень из кварцита, базальта или гранита, а также кислотоупорный кирпич, как и графит.



- 
- По плотности различают: 1) конструкционный тяжелый полимербетон на тяжелых плотных заполнителях; 2) конструкционно-теплоизоляционный легкий бетон на минеральных пористых заполнителях (например, керамзите) и 3) теплоизоляционный особо легкий бетон на высокопористых заполнителях (пенопласте, пробке, древесине, вспученном перлите и т. п.).
 - Для увеличения прочности полимербетона вводят волокнистые наполнители - асбест, стекловолокно и др. Полимербетоны отличаются от цементного бетона высокой химической стойкостью и прочностью, в особенности при растяжении - 7-20 МПа и изгибе - 16-40 МПа, а прочность при сжатии достигает 60-120 МПа.
 - Отрицательным свойством полимербетонов является их большая ползучесть, а также старение, усиливающееся при действии попеременного нагревания и увлажнения. Кроме того, необходимо соблюдение специальных правил охраны труда при работе с полимерами и кислотными отвердителями, могущими вызвать ожоги, необходима хорошая вентиляция, а также обеспечение рабочих защитными очками, спецодеждой.

- Полимерцементные бетоны и растворы содержат от 0,2 до 5-12% добавки синтетической смолы или каучука, их вводят в виде эмульсий или суспензий, что обеспечивает более равномерное распределение полимера в объеме материала. Обычно применяют водные дисперсии поливинилацетата, полистирола, поливинилхлорида, латексы, а также кремнийорганические соединения. В результате уменьшаются водопоглощение и водопроницаемость, увеличивается в 2-3 раза прочность бетона при растяжении и изгибе.
- Полимерцементные материалы применяют в виде красок, клеев, обмазок (например, для защиты арматуры); полимерцементные растворы и бетоны используют для устройства полов, а также в виде защитных слоев резервуаров, труб и других сооружений.



Спасибо за внимание!!!!!!!

