

Лекция 9. Начальные сведения о бетонах. Материалы для бетонов

9.1. Бетоны и бетонная смесь.

Бетон – штучный камнеподобный материал, результат твердения рационально подобранной смеси вяжущего, заполнителей, воды и, в случае надобности, специальных добавок. До затвердения такую смесь называют бетонной.

В капитальном строительстве стоимость сборных и монолитных изделий в конструкциях составляет более 25 %. Вместе с этим, бетон является экономичным материалом, т.к. на 80 % складывается из местных материалов (песок, щебень, гравий, шлак, зола и т.д.). Преимуществом бетона является возможность придавать изделиям любую конфигурацию, получать заданные свойства по прочности, плотности, теплопроводности и т.д.

9.2. Классификация бетонов.

Бетоны классифицируются по следующим признакам:

1. По основному назначению:

- конструкционные бетоны;
- специальные (жаро- и химически стойкие, радиационно-защитные и т.д.).

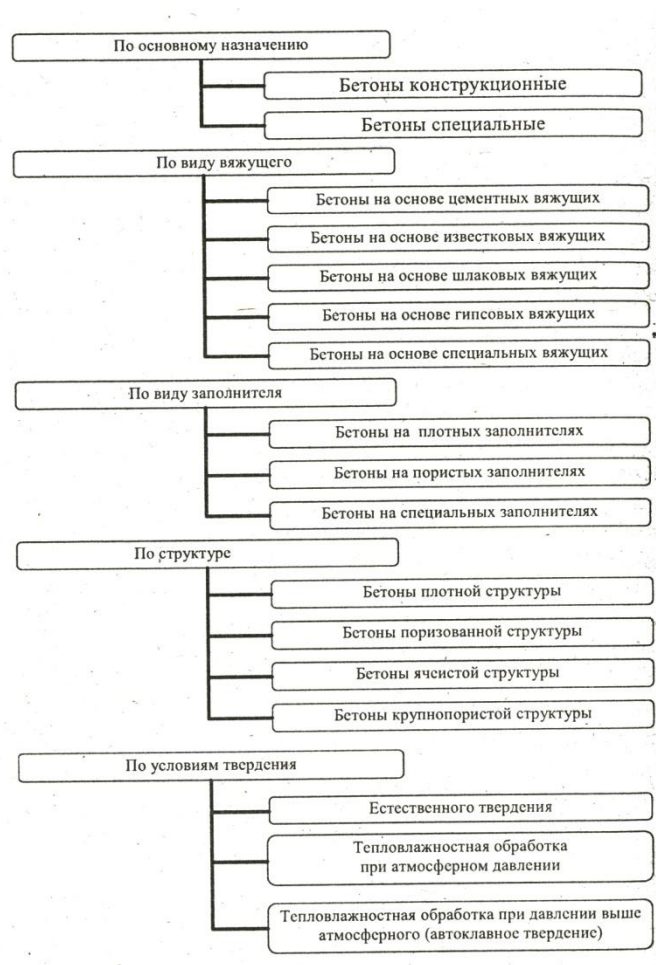
2. По виду вяжущего:

- на основе цементного вяжущего;
- известковых;
- гипсовых;
- шлаковых;
- специальных вяжущих.

3. По структуре:

- плотные;
- поризованные (включающие мелкий заполнитель);
- пористый (пено- и газобетоны);
- крупнопористый (крупный заполнитель переменного размера).

Рис. 9.1. Классификация бетонов



9.3. Основные требования к бетонным смесям и бетонам.

Для всех бетонных смесей и бетонов предъявляются следующие требования:

- до завершения формирования смесь должна перемешиваться и укладываться с наименьшими затратами энергии;
- не расслаиваться;
- скорость твердения отформованного бетона должна соответствовать заданным срокам разопалубливания;
- расход цемента в смеси должен быть обоснованно минимальным.

Кроме этого, в зависимости от области применения, к бетонам предъявляются специальные требования: морозостойкость, заданная прочность, водонепроницаемость, тепловыделения, износостойкость и т.д.

9.4. Материалы для бетона.

9.4.1. Цементы.

При выборе цемента учитывают основные показатели бетона: прочность, морозостойкость, химическую стойкость, а также технологию изготовления изделий.

Марку цемента рекомендуется выбирать в зависимости от проектной марки бетона по прочности на сжатие в соотношении 3:1 при низких марках бетона и 1:1 при высоких:

Марка цемента	Класс бетона по прочности на сжатие					
	B10	B20	B30	B35	B40	B50
Рекомендуемая	M300	M300	M400	M500	M600	M600
Допускаемая	—	M400	M500	M550 M600	M500 M550	M550

9.4.2. Заполнители для бетонов.

Заполнителями для бетонов являются сыпучие смеси минеральных зерен природного или искусственного происхождения определенного гранулометрического состава в установленном диапазоне размеров. Заполнители в бетоне занимают 80÷85 % его объема и существенно влияют на технологические показатели бетонной смеси и бетона, а также на его экономичность.

В зависимости от размеров зерен заполнители делятся на:

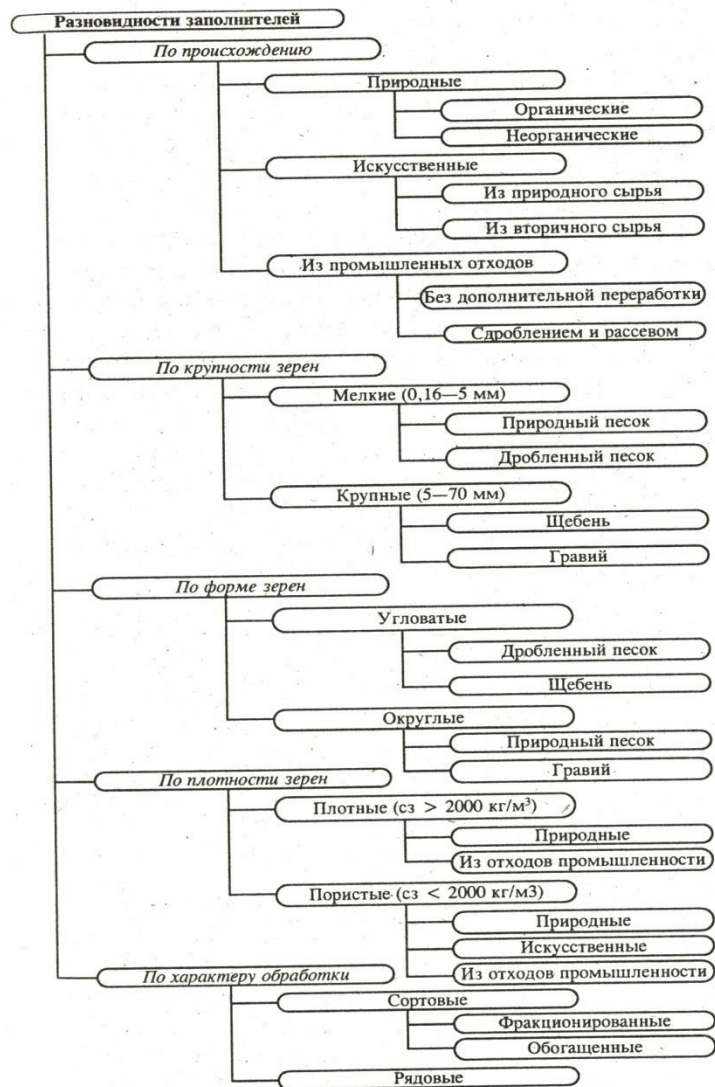
- мелкие (пески) крупностью 0,16÷5 мм;
- крупные (щебень или гравий) крупностью 5÷70 мм.

Для производства бетона применяют, как правило, природные пески – сыпучую обломочную породу. Наиболее распространены кварцевые пески. По происхождению пески бывают горными, речными или морскими. Искусственные пески получают дроблением горных пород или попутных продуктов промышленности (отсевы, металлургические шлаки).

На пригодность песка для производства бетона влияют следующие показатели:

- содержание в песке глинистых, илистых и пылеватых примесей (<0,14 мм) не должно превышать 3 % по массе, т.к. они ухудшают сцепление заполнителей и вызывают повышенный расход цемента. Промывание песков приводит к его значительному удорожанию, поэтому следует отдавать предпочтение речному песку;
- содержание органических примесей ограничивается тем, что они содержат органические кислоты, которые разрушают цементный камень;
- зерновой (гранулометрический) состав песка влияет на свойства бетонной смеси и характеризуется процентным содержанием зерен разных размеров и модулем крупности МК.

Рис. 9.2. Классификация заполнителей

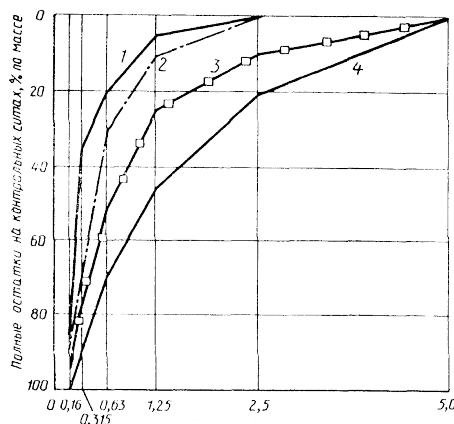


Зерновой или гранулометрический состав песка характеризуется содержанием в нем зерен различной крупности и определяется путем просеивания средней пробы сухого песка через набор стандартных сит (размер ячеек 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм). По результатам просеивания определяют модуль крупности (МК), для чего определяют сначала частные остатки a_i , %, а затем полные остатки A_i , % на ситах. Полный остаток на каждом сите равен сумме частных остатков на этом сите и всех ситах большего размера. Например: $A_{0,63} = a_{0,63} + a_{1,25} + a_{2,5}$ - частные остатки, начиная с размера 2,5 мм и, включающий остаток на данном сите a_i , %.

Начальную оценку крупности выражают модулем крупности:

$$M_K = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}.$$

По результатам определения зернового состава строится кривая, которая сравнивается с установленными требованиями ГОСТ 10268 графиком зернового состава песка (рис. 9.3.).



К крупным заполнителям относятся щебень и гравий. Гравий – это сыпучий материал, образованный в результате природного разрушения изверженных или осадочных горных пород. Для гравия характерна окатанная форма зерен и повышенное содержание пылевидных частиц и слабых пород. Наилучшей является мало обкатанная форма, хуже – яйцевидная, самая худшая – пластинчатая.

Щебень – это сыпучий материал, полученный искусственным дроблением горных пород. Прочность сцепления с цементным камнем у щебня выше, чем у гравия. При дроблении на современных карьерах его делят по фракциям: $5\div 10$ мм; $10\div 20$ мм; $30\div 40$ мм; $40\div 70$ мм. В случае надобности смесь изготавливают из 2-3 фракций. Ограничивается в крупном заполнителе содержание глинистых, илистых и пылеватых частиц до 0,05 мм: для гравия - $1\div 2$ %; для щебня – до $1\div 3$ % по массе.

Прочность крупного заполнителя должна быть выше прочности проектируемого бетона в $1,5\div 2$ раза и не быть ниже, чем 80 МПа для изверженных пород, 60 МПа для метаморфических; 30 МПа – осадочных. Морозостойкость заполнителей должна обеспечивать необходимую морозостойкость бетона.

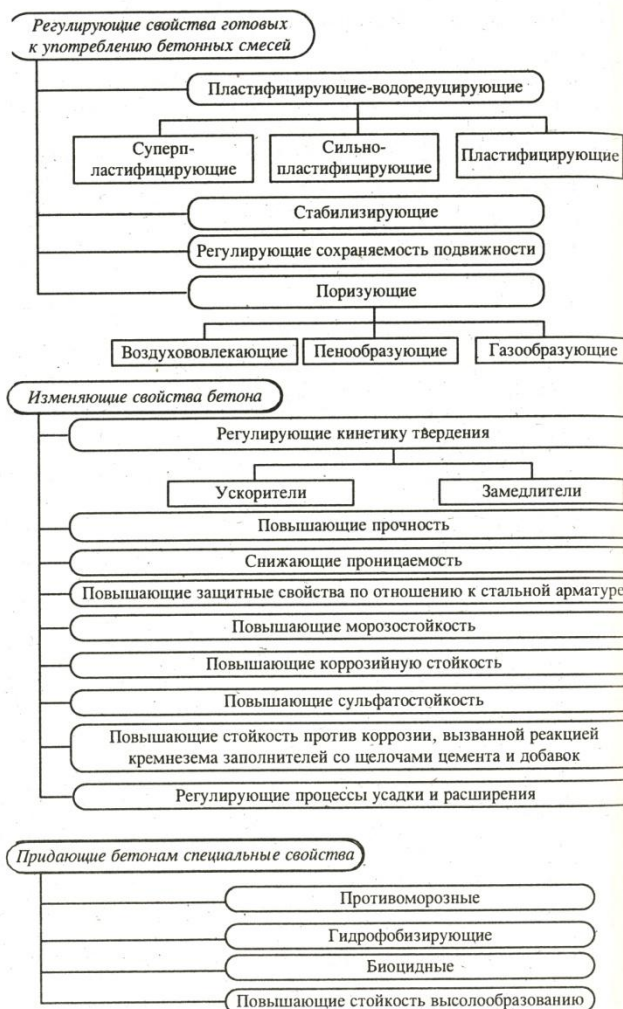
Пригодность (соответствие) заполнителя зерновому составу определяют аналогично пригодности песка (по графику зернового состава щебня).

9.4.3. Вода для бетона.

Воду используют для приготовления бетонной смеси и поливания открытых поверхностей твердеющего летом монолитного бетона. Для всех этих работ без предварительной проверки пригодна питьевая вода. Речная, озерная и вода из искусственных водоемов пригодна в том случае, если она не загрязнена в недопустимых нормах сточными выбросами, солями, маслами и т.д.

В спорных случаях пригодность воды можно проверить сравнительными испытаниями прочности образцов, приготовленных на предлагаемой и питьевой воде.

9.5. Добавки к бетонам.



Рекомендуемые химические добавки в бетоны

Класс добавок по ГОСТ 24211	Наименование	Условное обозначение	Рекомендуемая дозировка*	Эффект от применения
1	2	3	4	5
Суперпластификаторы	Разжижитель С-3 Разжижитель СМФ Дофен	С-3 СМФ ДФ	0,5–1,0 0,5–1,5	Снижение водопотребности бетонной смеси более 20%, увеличение подвижности от П1 до П5 без снижения прочности
Сильнопластифицирующие	Лигносульфонат технический модифицированный Модифицированный лигносульфонат	ЛСТМ-2 МТС-1	0,15–0,25	Снижение водопотребности бетонной смеси до 20%, увеличение подвижности от П1 до П4 без снижения прочности
Слабопластифицирующие	Нейтрализованный черный контакт Этилсиликат натрия Метилсиликат натрия	НЧК ГКЖ-10 ГКЖ-11	0,05–0,2	Снижение водопотребности бетонной смеси до 10%, увеличение подвижности от П1 до П2 без снижения прочности
Газообразующие	Полигидросилоксаны	136-4 136-157М	До 0,1	Повышение морозостойкости бетона на 200–300 циклов

1	2	3	4	5
Воздухововлекающие	Смола нейтрализованная воздухововлекающая Клей таловый Пексовый Омыленный таловый пек	СНВ КТП ОТП	0,005–0,03	Обеспечение воздухововлечения в бетонную смесь 2–5%, повышение морозостойкости в 2 и более раза
Противоморозные	Поташ (карбонат калия) Нитрит натрия Хлорид кальция Нитрит-нитрат кальция	П НН ХК ННК	До 10	Твердение бетона при отрицательных температурах
Ингибиторы коррозии	Нитрит натрия Тетраборат натрия Бихромат натрия Бихромат калия	НН ТБН БХН БХК	2–3 0,2–3 0,5	Предотвращают коррозию арматуры в железобетоне
Регуляторы схватывания				
Ускорители схватывания и твердения	Нитрат кальция Хлорид кальция Нитрит-нитрат кальция	НК ХК ННК	1–3 0,5–2 2–3	Ускоряют схватывание и твердение, повышают прочность на 20% и более в возрасте 1 сут. нормального твердения
Замедлители	Нитрилотриметиленфосфорная кислота Кормовая сахарная патока	НТФ КП	0,02–0,15 0,05–0,3	Замедляют схватывание до нескольких часов

Лекция 10. Технология приготовления и основные свойства бетонных смесей и бетонов

10.1. Технология приготовления бетонных смесей

10.1.1. Начальные сведения о технологии бетонных смесей.

Бетонная смесь представляет собой смесь вяжущего, воды, заполнителей и добавок, взятых в необходимых пропорциях. Бетонные смеси приготавливают на бетоносмесительных узлах, бетонных заводах или цехах заводов ЖБИ, а также в автобетоносмесителях (миксерах) при транспортировании.

Процесс производства б.с. складывается из выполнения следующих стадий:

- подготовка материалов;
- дозирование компонентов б.с.;
- перемешивание б.с.;
- транспортирование б.с.;
- укладка б.с.

10.1.2. Подготовка материалов.

Подготовка материалов для приготовления б.с. включает в себя очистку заполнителей от вредных примесей и разделения их на фракции. Эти процессы производятся на дробильно-сортировальных заводах. При зимнем бетонировании производится подогрев заполнителей и воды.

10.1.3. Дозирование компонентов.

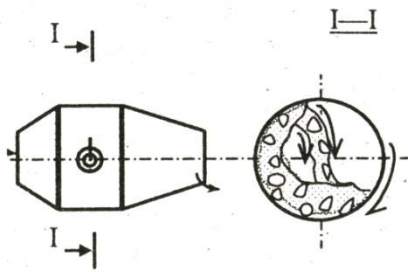
Качество б.с. зависит от точности дозирования компонентов. Дозирование сыпучих материалов проводят по массе, воды – по объему. Погрешность дозирования цемента и воды не должна превышать $\pm 2\%$, заполнителей - $\pm 2,5\%$

На бетоносмесительных узлах применяют порционные и непрерывные дозаторы с ручным, полуавтоматическим или автоматическим управлением.

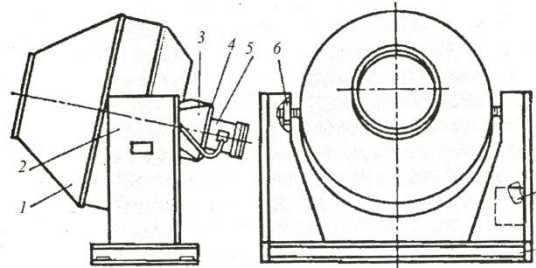
• 10.1.4. Перемешивание.

Перемешивание – основная стадия при производстве б.с. От тщательности перемешивания зависит прочность и однородность бетона. В зависимости от способа перемешивания бетоносмесители бывают двух основных типов:

Бетоносмесители гравитационного действия (или действия по принципу свободного падения), где вращается барабан, к стенкам которого в середине закреплены лопасти. Перемешивание происходит по принципу свободного падения материала.



а.



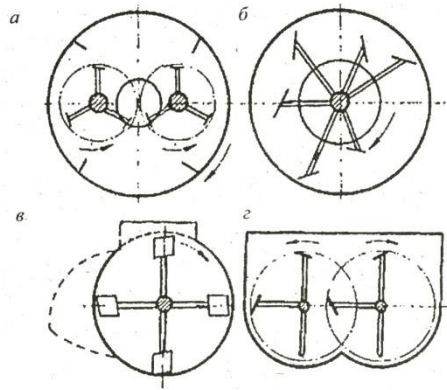
б.

в.



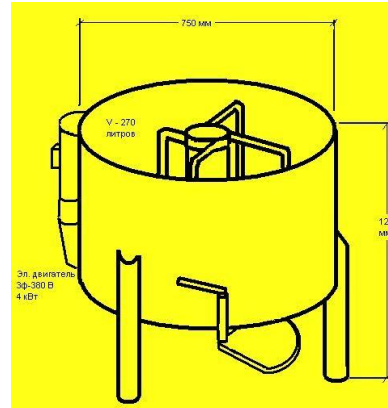
Рис. 10.1. Бетоносмесители гравитационного действия: а – схема перемешивания компонентов в гравитационном смесителе; б – бетоносмеситель: 1 – барабан; 2 – боковая стойка; 3 – траверса; 4 – редуктор; 5 – электродвигатель; 6 – цапфа; 7 – механизм опрокидывания барабана; 8 – рама; в – общий вид

- Бетоносмесители принудительного действия, где в середине барабана вращается вал с лопастями, которые перемешивают б.с.



а.

б.



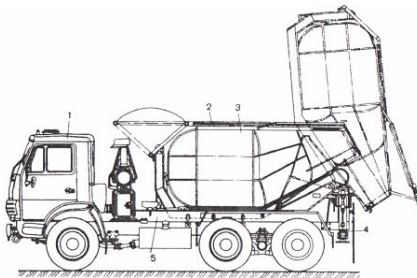
в.



- Рис. 11.2. Бетоносмесители принудительного действия: а – схемы циклических бетоносмесителей принудительного действия: а – противоточный двухвальный смеситель с вращающейся горизонтальной чашей; б – роторный смеситель; в – смеситель с одним горизонтальным валом; г – двухвальный смеситель с горизонтальными валами; б; в – общий вид
- Бетоносмесители бывают циклическими (периодическими) и непрерывного действия.

10.1.5. Транспортирование б.с.

- Б.с. на строительный объект транспортируется в основном автобетоносмесителями, автобетоновозами, автосамосвалами.



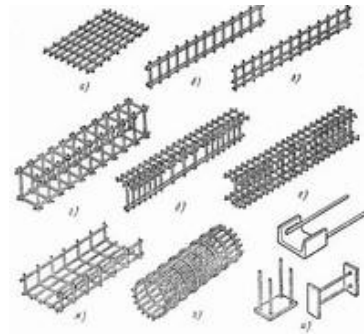
- Рис. 11.3. а - автобетоносмеситель (миксер); б – автобетоновоз; в - автосамосвал
- К месту выполнения работ б.с. может подаваться грузоподъемными механизмами (кранами) с помощью
- бадей бетоноукладчиками, бетононасосами, конвейерами и т.д.



- а. б. в.
- Рис. 11.4. а – бадья для б.с.; б – бетононасос; в - бетоноукладчик

10.1.6. Укладка бетонной смеси.

- Укладка б.с. производится в формы либо в опалубки с первоначально установленными в них арматурными изделиями и закладными деталями.



- Рис. 11.5. Арматурные изделия и закладные детали.
- Качество укладки определяется эффективностью уплотнения материала по всему объему. Уплотнение б.с. может производиться штыкованием, вибрированием, прессованием, центрифугированием, вакуумированием и т.д.



- а. б. в.
- Рис. 11.6. Уплотнение б.с.: а – штыкованием; б – вибрированием; в - центрифугированием.

10.2. Основные технологические свойства б.с.

Б.с. получается путем тщательного перемешивания вяжущего, заполнителей, воды и добавок и представляет собой сложную многокомпонентную полидисперсную систему.

В б.с. между дисперсными частицами твердой фазы и водой присутствуют силы взаимодействия:

силы молекулярного сцепления;

вязкого трения и т.д.

Вследствие этого б.с. приобретает связанность и определенные свойства, характерные для структурированных вязких жидкостей (рис. 10.7).



а.



б.

Рис. 10.7. Бетонная смесь: а – пластичная многокомпонентная полидисперсная система; б – прием бетонной смеси из миксера при изготовлении армированной фундаментной плиты

Б.с. занимает промежуточное положение между твердыми телами и жидкостью. От истинно вязких жидкостей она отличается наличием некоторой начальной прочности структуры или структурной вязкостью; от твердых тел – отсутствием достаточной упругости формы и способностью к значительным необратимым пластическим деформациям течения даже при не значительных нагрузках. Истинно вязкие жидкости характеризуются постоянной вязкостью, не зависящие от внешнего воздействия (сдвиг, давление). Структурированные жидкости отличаются тем, что их вязкость может изменяться в значительных пределах в зависимости от внешних силовых воздействий.

Способность б.с. к деформированию и течению под действием внешних сил определяется ее реологическими свойствами и используется при приготовлении и уплотнении. В производственных условиях для оценки реологических свойств б.с. пользуются технологической характеристикой - удобоукладываемость б.с. При определении интенсивности воздействий, например, встряхиваний, вибрации, толчков разрушается первоначальная структура бетона, уменьшается ее вязкость и смесь приобретает текучесть. Как только прекращается внешнее воздействие, смесь вновь восстанавливает начальную прочность структуры и переходит в малоподвижное состояние.

Тиксотропия - свойство б.с. разжижаться при механическом воздействии и вновь загустевать после прекращения воздействия.

Б.с. должны отвечать двум основным требованиям:

- иметь достаточную удобоукладываемость, соответствующую принятому способу уплотнения;
- сохранять на всех стадиях технологического процесса изготовления изделия однородность.

Удобоукладываемость (формуемость) – способность б.с. принимать заданную форму, образуя в результате уплотнения плотное однородное тело. Удобоукладываемость и однородность б.с. характеризуются подвижностью (текучестью), жесткостью и расслаиваемостью.

10.2.1. Подвижность б.с.

Под подвижностью (П) б.с. понимают ее способность расплываться под действием собственного веса. Характеристикой подвижности является осадка конуса (ОК) б.с. или расплыв, уплотненный штыкованием в стандартном конусе (рис. 10.8).

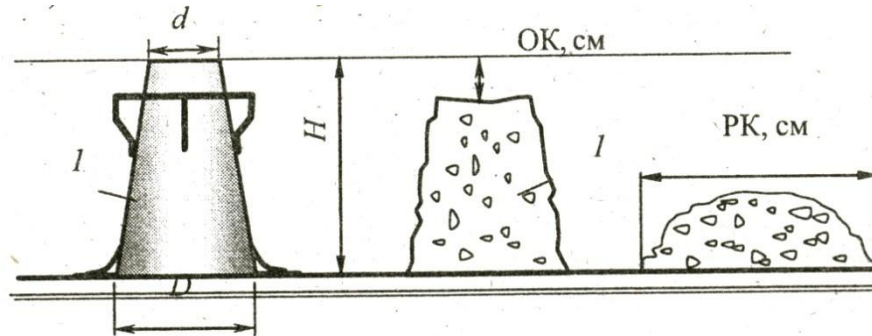


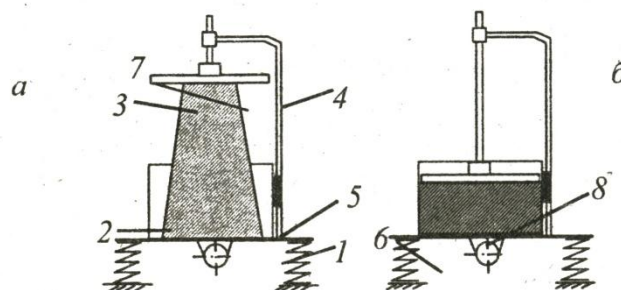
Рис. 10.8. Определение подвижности б.с.: 1 – стандартный металлический конус высотой $H=300\pm 2$ мм; $D=200\pm 2$ мм; $d=100\pm 2$ мм; 2 – деформированный конус б.с.

Если смесь после снятия стандартного конуса не оседает, т.е. $ОК=0$, то применяют специальный прибор для определения жесткости (Ж) в секундах – вискозиметр.

10.2.2. Жесткость (Ж) б.с.

Жесткие б.с. приобретают свойства пластичности в результате принудительного уплотнения. Их удобоукладываемость оценивается показателем жесткости (Ж), характеризующаяся временем вибрации в секундах, необходимое для уплотнения б.с (рис. 10.9).

Рис. 10.9. Определение жесткости б.с.: а; б – установка типа Вебе перед началом испытаний; то же после окончания определения жесткости б.с.; в – общий вид установки: 1, 6 – виброплощадка; 2 – цилиндр с фланцем в основании; 3- стандартный конус ; 4 - штатив; 5 – фиксирующая втулка; 7 – диск с шестью отверстиями; 8 – цилиндр с фланцем в основании; в – общий вид установки типа Вебе.



Классификация бетонных смесей по показателю
удобоукладываемости

Группа смесей	Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю:		
		жесткости Ж, с	подвижности, см	
			осадка конуса ОК	распływ конуса РК
Сверх-жест-кие	СЖ3	Более 100	-	-
	СЖ2	51-100	-	-
	СЖ1	50 и менее	-	-
Жест-кие	Ж4	31-60	-	-
	Ж3	21-30	-	-
	Ж2	11-20	-	-
	Ж1	5-10	-	-
Под-виж-ные	П1	4 и менее	1-4	-
	П2	-	5-9	-
	П3	-	10-15	-
	П4	-	16-20	26-30
	П5	-	21 и более	31 и более

Одним из важнейших факторов, влияющих на подвижность и жесткость б.с. является водопотребление (В). Водопотребление зависит от типа и качества цемента, удельной поверхности и пустотности заполнителей, формы и характера поверхности, соотношения мелкого крупного заполнителей, времени выдержки смеси до укладки, вида и качества пластифицирующих добавок.

10.2.3. Расслоение б.с.

Для получения гарантированных физико-механических характеристик бетона необходимо обеспечить однородность б.с., которая определяется степенью расслоения смеси при сохранении и транспортировке. Расслоение смеси приводит к неоднородности структуры бетона, а также к неоднородности его свойств. Расслоение происходит вследствие седиментации (более тяжелые зерна оседают вниз, а более легкий компонент вода выталкивается вверх). Практически, исключить седиментацию невозможно. Снижение части песка в смеси заполнителей и расхода воды при замешивании при использовании пластификаторов способствует снижению расслоению до минимальных значений.

10.3. Общие свойства бетона.

10.3.1. Прочность бетона.

Основные факторы, влияющие на прочность бетона – это прочность цемента R_u и водоцементное отношение $\frac{B}{Ц}$:

$$R_{\sigma} = f\left(R_u, \frac{B}{Ц}\right) \quad (10.1.)$$

данную формулу называют законом водоцементного отношения, хотя зависимость R_{σ} от $\frac{B}{Ц}$ справедлива лишь в определенных границах. Суть закона состоит в том, что при постоянных материалах, технологии приготовления и условиях твердения прочность бетона зависит от отношения $\frac{B}{Ц}$.

Для расчетов широко используется формула Болоея-Скрамтаева:

$$R_{0.2} = A \cdot R_u \left(\frac{C}{B} \pm 0,5 \right)$$

которая предусматривает, что в определенных интервалах прочность связана с величиной обратной $\frac{B}{C}$ и прямой с цементно-водным отношением $\frac{C}{B}$. Коэффициент A зависит от качества исходных материалов.

Для ориентировочного прогнозирования роста прочности бетона во времени можно использовать логарифмическую зависимость:

$$R_b = R_b^{28} \times \frac{\lg n}{\lg 28}.$$

Графики зависимости роста прочности бетона во времени см. рис. 10.10. На практике прочность бетона в проектном возрасте определяют пределом прочности на сжатие образцов-кубов с высотой ребра 150 мм. По прочности на сжатие установлены следующие классы бетона: В3,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 40; 45; 50; 55; 60. Класс бетона гарантирует получение заданной прочности с надежностью 95 %.

Графики зависимости роста прочности бетона во времени см. рис. 10.10. На практике прочность бетона в проектном возрасте определяют пределом прочности на сжатие образцов-кубов с высотой ребра 150 мм. По прочности на сжатие установлены следующие классы бетона: В3,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 40; 45; 50; 55; 60. Класс бетона гарантирует получение заданной прочности с надежностью 95 %.

Рис. 10.10. Рост прочности бетона во времени: а – логарифмическая зависимость ; б –



Бетон характеризуется неоднородностью структуры, что приводит к неоднородности его свойств. Неоднородность структуры обусловлена изменчивостью свойств материалов, составляющих бетон, колебаниями параметров технологических процессов, влиянием неучтенных факторов (износ оборудования, температура, влажность окружающей среды, погрешности при испытаниях и т.д.). На этом основании показатели свойств бетона можно считать величинами случайными, т.е. при испытании образцов одного и того же материала мы получаем разные значения, которые не можем предсказать заранее. Для оценки случайных величин используются статистические характеристики: среднее арифметическое, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации. Последние две характеристики используются для оценки однородности свойств бетона и зависят от разброса, т.е. отклонения данных от среднего значения. Чем больше разброс данных относительно среднего, тем больше значения и , тем меньше однородность бетона. Среднеквадратичное отклонение:

- ,

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum (R_i \cdot i - \bar{R})^2}{n-1}} \quad (10.4)$$

- где: R_i - прочность i -го образца;
- n - количество образцов;
- $\bar{R}$ - среднее значение прочности:

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{n} \quad (10.5)$$

- Коэффициент вариации:

$$v = \frac{S_R}{\bar{R}} \quad (10.6)$$

- Марка бетона не учитывает фактическую неоднородность прочности, а это может привести к тому, что прочность бетона в некоторых конструкциях окажется намного ниже требуемой по расчету, тогда как в других будет неоправданно завышена.
- В связи с этим и используют класс бетона по прочности В. Он определяет величину прочности, гарантированную с обеспеченностью 0,95. Это означает, что прочность бетона при большом числе испытаний в 95 % случаев будет равна или больше гарантированной, а в 5 % - меньше.
- Класс бетона и средняя прочность, при которой будет обеспечена гарантированная прочность, связаны зависимостью:

$$B = \bar{R}(1 - t \cdot v) \quad (10.7)$$

- где: t - статистический критерий, зависящий от обеспеченности: при обеспеченности 0,95 $t = 1,64$
- Значение v определяется при статистическом контроле прочности на предприятии, а при отсутствии данных принимается равным нормативному: Тогда

$$v^n = 0,135 \text{ (13,5 \%)} \quad (10.8.)$$

$$\bar{R} = \frac{B}{1 - tv} = \frac{B}{1 - 1,64 \times 0,135} = \frac{B}{0,778}$$

Лекция 11. Проектирование составов бетонов. Технология приготовления б.с. Бетоны специального назначения, легкие бетоны

11.1. Проектирование составов бетонов.

11.1.1. Начальные сведения.

Зная необходимые характеристики составных частей бетона, можно проектировать его состав. Это делается для того, чтобы установить также соотношения между компонентами, которые обеспечивают следующие требования:

- гарантируется прочность бетона после твердения в заданные сроки, т.е. решаются технические (конструктивные) требования;
- удобоукладываемость б.с. (подвижная или жесткая смесь), т.е. решаются технологические требования;
- устанавливается минимальный расход цемента, т.е. решается экономическая задача.

При предварительном подборе состава бетона решаются следующие задачи:

- устанавливаются требования к бетону на основании характеристики сооружения или конструкции;
- определяется производитель материалов для бетона и уточняются их свойства;
- производится предварительный расчет состава бетона;
- проверяется состав бетона в пробном замесе;
- координируется состав бетона в случае изменения свойств заполнителей.

11.1.2. Предварительный расчет состава бетона.

- В основу расчета положен метод «абсолютных объемов» - сумма абсолютных объемов компонентов уплотненной смеси составляет 1 м³:

$$V_u + V_n + V_{щ} + V_в = 1,$$

$$\frac{Ц}{\rho_u} + \frac{П}{\rho_n} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} + \frac{В}{\rho_в} = 1,$$

• (11.1.)

- где - $Ц, П, Щ, В$ соответственно расход цемента, песка, щебня, воды, кг на 1 м³ б. с. ;

- $\rho_u; \rho_n; \rho_{щ}; \rho_в$ - истинная плотность этих материалов $\frac{кг}{м^3}$.

- Задача состоит в определении расхода каждого компонента в кг.

- Расход воды (водопотребление) определяют ориентировочно по заданной составляющей, пользуясь специальными графиками:

- Расход цемента определяется через $B = f(ОК \text{ или } Ж; d_{max}; \text{крупность песка})$ - отношение $\frac{В}{Ц}$ (формула Боломея-Скрамтаева):

• (11.2.)

$$R_б = A \cdot R_u \left(\frac{Ц}{B} \pm 0,5 \right)$$

• (11.3.)

- $R_б = A \cdot R_u \left(\frac{Ц}{B} - 0,5 \right)$; $\left(\frac{В}{Ц} \geq 0,4 \right)$ - обычный бетон;

- $R_б = A \cdot R_u \left(\frac{Ц}{B} + 0,5 \right)$; $\left(\frac{В}{Ц} < 0,4 \right)$ - высокопрочный бетон;

- где $R_б$ - прочность бетона на сжатие, [МПа,];

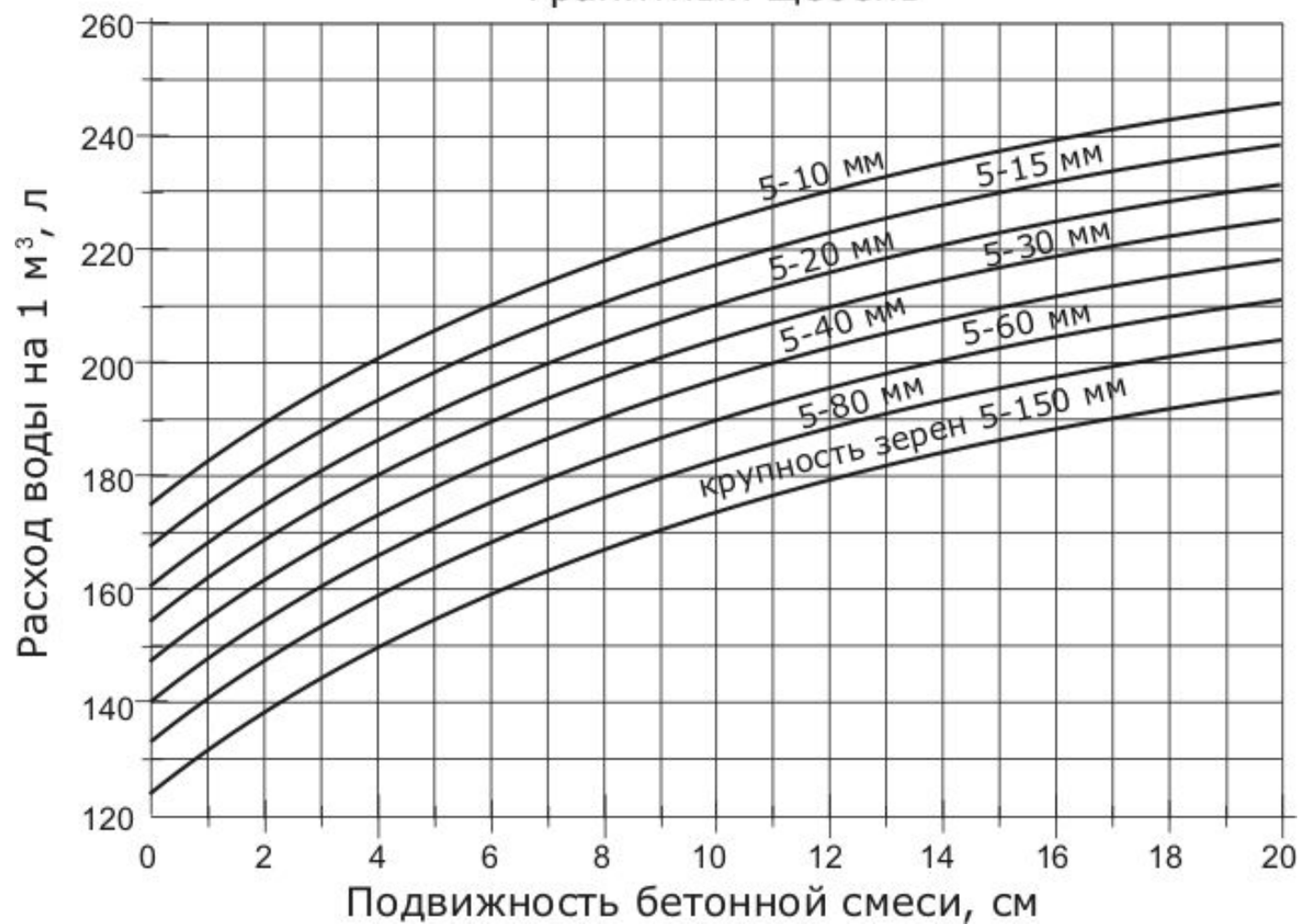
- коэффициенты, определяющие качество заполнителей (высокое, рядовое, пониженное);

- активность цемента, [МПа,] $\frac{кгс}{см^2}$

- При известных $R_б$ и R_u получают $\frac{В}{Ц}$ и $Ц = B : \frac{В}{Ц}$:

Подбор расхода воды

Гранитный щебень



- Расход щебня находится логическим рассуждением об оптимальной структуре бетона.
- Объем уплотненной растворной части б.с.:

$$V_{р.ч.} = \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_n} + \frac{Б}{\rho_б}.$$

- Это выражение обозначает, что цементное тесто тщательно заполняет все пустоты между зернами песка, покрывая при этом каждую песчинку. В свою очередь цементно-песчаный раствор в бетоне должен заполнять межзерновое пространство в щебне или гравии. Объем межзерновых пустот можно определить через насыпную плотность:

- С учетом коэффициента раздвижки зерен крупного заполнителя $\alpha = f\left(Ц; \frac{Б}{Ц}\right)$ объем растворной части бетона через пустотность крупного заполнителя можно обозначить:

- .
- Учитывая условие уравнения (11.1.), получаем:
- Из этого уравнения находим расход щебня:

$$\frac{\alpha \cdot V_{щ} \cdot Ц}{\rho_{щ}} = 1. \quad (11.4)$$

- Расход песка определяем из исходного уравнения при известных $Б, Ц, Щ$:
- .

$$\frac{Щ}{\rho_{щ}} = \frac{1}{\alpha \cdot V_{щ} \cdot Ц}$$

- Иногда, номинальный (лабораторный) состав бетона выражают, приводя расход всех компонентов к расходу цемента:
- При этом обязательно указывается значение

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{П}{Ц} : \frac{Щ}{Ц} = 1 : 2,5 : 4.$$

Определение коэффициента раздвижки крупного заполнителя

Таблица П4.1
Значения коэффициента раздвижки зерен

Table A.4.1
Value of grains separation coefficient

Удобоукладываемость бетонной смеси Workability of concrete mix	Водопотребность бетонной смеси, кг/м ³ Water requirement of concrete mix, kg/cm ³							
	150	160	170	180	190	200	210	220
Песок крупный ($M_s > 2,5$) Coarse sand ($M_s > 2,5$)								
Ж2	1,17	1,19	1,22	1,25	—	—	—	—
Ж1	1,21	1,23	1,26	1,29	1,32	—	—	—
П1	1,25	1,27	1,3	1,33	1,35	1,38	1,41	1,43
П2	1,33	1,35	1,37	1,39	1,42	1,44	1,46	1,48
П3	1,44	1,45	1,46	1,48	1,5	1,52	1,54	1,56
П4	1,52	1,53	1,54	1,55	1,57	1,59	1,61	1,63
Песок средней крупности ($M_s = 2—2,5$) Medium sand ($M_s > 2 - 2,5$)								
Ж2	1,14	1,15	1,18	1,21	1,25	1,27	—	—
Ж1	1,17	1,19	1,22	1,25	1,28	1,3	—	—
П1	1,21	1,23	1,26	1,29	1,31	1,34	1,37	1,39
П2	1,29	1,31	1,33	1,35	1,38	1,4	1,42	1,44
П3	1,4	1,41	1,42	1,44	1,46	1,48	1,5	1,52
П4	1,48	1,49	1,5	1,51	1,53	1,55	1,57	1,59
Песок мелкий и очень мелкий ($M_s = 1,1—1,8$) Fine and super fine sand ($M_s > 1.1—1.8$)								
Ж2	1,09	1,11	1,14	1,17	1,21	1,24	1,27	—
Ж1	1,13	1,15	1,18	1,21	1,24	1,27	1,3	—
П1	1,17	1,19	1,22	1,25	1,27	1,3	1,33	1,35
П2	1,25	1,27	1,29	1,31	1,34	1,36	1,38	1,4
П3	1,36	1,37	1,38	1,4	1,42	1,44	1,46	1,48
П4	1,44	1,45	1,46	1,47	1,49	1,51	1,53	1,55

11.3. Бетоны специального назначения.

11.3.1. Гидротехнический бетон.

- Применяют для изготовления изделий и бетонирования сооружений, которые периодически или постоянно омываются водой. Гидротехнический бетон должен иметь комплекс следующих свойств: прочность на растяжение и сжатие, водостойкость и водопроницаемость, морозостойкость, низкое тепловыделение при твердении.
- Прочность на сжатие от В7,5 до В40, по морозостойкости применяют бетоны от F50 до F500. Максимальные показатели необходимы для бетона эксплуатируемого в зонах переменного уровня воды и, в зависимости от распределения бетона в частях сооружений и степени нагрузки, требования дифференцируют.

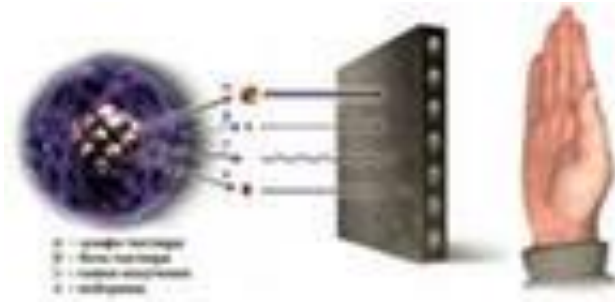
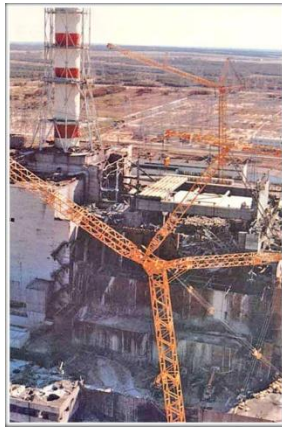


• 11.3.2. Химически стойкий бетон.

- Стойкость бетона влиянию агрессивной среды оценивают коэффициентом химической стойкости K_{xe} , который сравнивает граница прочности при сжатии образцов, которые были подвергнуты на протяжении 360 суток действию заданной агрессии, к границе прочности на сжатие контрольных образцов. Различают:
- бетоны высокой стойкости, $K_{xe} \geq 0,8$;
- стойкие, $K_{xe} = 0,5 \div 0,8$;
- относительно стойкие, $K_{xe} = 0,3 \div 0,5$;
- нестойкие, $K_{xe} < 0,3$.

11.3.3. Радиационно-защитные бетоны.

- К этой разновидности относятся особо тяжелые и гидратные бетоны со средней плотностью $2500 \div 6000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Их применяют в специальных сооружениях: ядерных реакторах АЭС, рентгенкабинетах для защиты от радиоактивного получения.
- Гидратные бетоны содержат повышенное количество химически связанной воды (до 3% по массе), а также водород. Низкая молекулярная масса водорода способствует связыванию потока - лучей, нейтронов и т.д. Цементы в таких бетонах должны обеспечивать повышенное химическое и адсорбционное содержание воды (расширяющиеся, напрягаемые, глиноземистые и т.д.). Как заполнители используются материалы высокой плотности (магнетиты, железные руды, обрезки железа и т.д.). Для повышения защитных свойств вводят добавки, которые содержат бор, литий, кадмий. Защитная способность оценивается толщиной слоя бетона, при котором поток радиоактивного излучения ослабляется вдвое по сравнению с начальным.

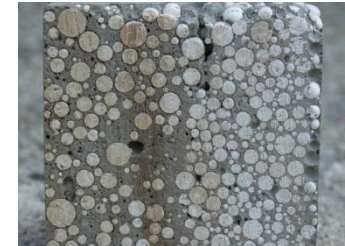


- а.
- б.
- Рис. 11.2. Радиационно-защитные бетоны: а – оборудование саркофага над АЭС; б – общий принцип работы

11.4. Легкие бетоны.

• 11.4.1. Общие сведения.

- К легким бетонам относятся бетоны со средней плотностью в сухом состоянии до $2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.
- Структура легких бетонов насыщена воздушными порами и пустотами. Достигается это следующими технологическими приемами:
- применением легких пористых природных или искусственных заполнителей;
- исключением из состава б.с. мелкого заполнителя (песка), что увеличивает объем межзерновых пустот;
- поризацией сырьевой смеси введением пено- и газообразующих добавок,
- В соответствии с этим различают такие виды легких бетонов: на пористых заполнителях, крупнопористых, ноздреватых и поризованных.



• 11.4.2. Бетоны на пористых заполнителях.

- Из всех видов легких эти бетоны самые распространенные. Естественные (природные) пористые заполнители получают в виде щебня и песка дроблением пористых горных пород (туф, известняк-ракушечник) с последующим разделением его на фракции. Чаще используют естественные пористые заполнители, полученные поризацией естественного сырья или промышленных отходов (керамзит, шлаковая пемза, вспученный перлит и др.).
- По назначению легкие бетоны на пористых заполнителях делятся на конструкционные и специальные (теплоизоляционные, жаростойкие, химически стойкие и т.д.). Применяя такие бетоны можно уменьшить массу изделий и конструкций; снизить стоимость транспортных и монтажных работ; сократить затраты на отопление и т.д. Кроме того, возможность использования, как заполнителя, сопутствующих продуктов промышленности для производства данных видов бетонов имеет большое экологическое значение.

11.4.3. Крупнопористый бетон.

- Такой бетон образуется после затвердения смеси цемента, крупного заполнителя и воды. Структура его характеризуется наличием крупных пустот, образованных за счет того, что в его составе нет мелкого заполнителя. Межзерновой простор заполнен цементным тестом лишь частично.
- Следует применять заполнители приблизительно одной фракции. Крупнопористая б.с. (особенно на пористых заполнителях) имеет высокую жесткость, характеризуется низким расходом цемента. Классы бетона по прочности на сжатие: В2; 2,5; 3,5; 5; 7,5. На растяжение прочность не нормируется. Изделия из такого бетона (стены) следует оштукатуривать с обеих сторон.

• 11.4.4. Поризованный бетон.

- Из состава бетона исключается мелкий заполнитель, а растворная смесь поризуется небольшим количеством пено- и газообразующих добавок. Поризованный бетон имеет низкую среднюю плотность и коэффициент теплопроводности. Классы по прочности на сжатие: В2,5; 3,5; 5; 7,5. Изготавливают стеновые панели, панели покрытия.
- Самым распространенным газообразователем является алюминиевая пудра. Взаимодействуя с гидроксидом кальция, она выделяет водород, который вспучивает цементное тесто.

• 11.4.5. Ячеистый бетон.

- Ячеистый бетон – образуется в следствие твердения первоначально поризованной смеси вяжущего, кремнеземистого компонента (песка) и воды. Используя пено- и газообразователи получают пено- или газобетоны. Класс бетона В 0,35; 0,75; 0,85; 1; 1,5; 2,5; 3,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20. Изготавливают армированные панели, стеновые блоки, камни и т.д.

