

## Тема 1. Материаловедение

### 1.1. Материалы, применяемые при производстве бетонных и железобетонных изделий

**Бетон** – искусственный каменный материал, получаемый в результате отвердевания бетонной смеси, состоящей из цемента, воды, заполнителей и добавок.

Обычный бетон изготавливают на *портландцементе* или его разновидностях с применением непористых заполнителей в виде песка и щебня (или гравия). При этом пользуются терминологией, представленной в таблице 1.

Компоненты смеси	Наименование материала	
	До отверждения	После отверждения
Цемент + вода	Цементное тесто	Цементный камень
Цемент + вода + песок	Растворная смесь	Раствор
Цемент + вода + песок + крупный заполнитель	Бетонная смесь	Бетон

Таблица 1.

Цемент и вода — химически активные материалы. В бетонной смеси они образуют пластичное тесто и придают ей подвижность. В бетоне они образуют цементный камень и придают ему прочность.

Заполнители (инертные) снижают стоимость бетона, так как, занимая 70-80% объема, существенно сокращают расход цемента. Чем больше содержание заполнителей в бетоне, тем меньше его усадка и ползучесть.

Обычный бетон (далее — бетон) относится к **тяжелым**. Специальные бетоны помимо несущей выполняют и другие функции. К ним относятся, например, бетоны для радиационной защиты.

**Легкие бетоны** применяются для строительства стен зданий, **особо легкие** – для теплоизоляции, **асфальтобетон** – для дорожных покрытий.

#### Материалы для приготовления бетона

Цемент должен удовлетворять требованиям стандарта. Вид цемента выбирают исходя из условий службы бетона, характера и технологических особенностей конструкции.

Вода, применяемая для бетона, должна иметь водородный показатель не менее 4 и не более 12,5, ограниченное содержание растворимых солей, ионов  $SO_4$  и  $Cl^-$ , а также взвешенных частиц. Питьевая вода может применяться без предварительного опробования.

Мелкий заполнитель (песок с зернами не крупнее 5 мм) должен удовлетворять требованиям стандарта в отношении зернового состава и содержания нежелательных примесей, к которым относятся:

1. Глина, ил и мелкие пылевидные частицы, определяемые отмучиванием, — увеличивают водопотребность бетонной смеси, снижают прочность и морозостойкость бетона (обволакивают зерна песка и препятствуют хорошему сцеплению его с цементным камнем);
2. Сернистые (пирит) и сернокислые (гипс, ангидрит) соединения — могут образовать гидросульфатоминат кальция;
3. Слюда — имеет плохое сцепление с цементным камнем;
4. Органические примеси — снижают прочность бетона;

5. Опал и другие аморфные видоизменения кремнезема — реагируя с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , вызывают неравномерное изменение объема.

Загрязненность песка глинистыми, пылевидными и органическими примесями можно устранить, промыв его.

Зерновой состав песка определяют просеиванием навески высушенного песка последовательно через сита стандартного набора (5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм). Остатки на каждом сите взвешивают и выражают *в процентах от массы пробы*.

**Крупный заполнитель** — гравий, щебень либо их смесь — состоит из зерен размером более 5 мм. Наибольший размер зерен не должен превышать  $1/4$  наименьшего размера конструкции или  $3/4$  наименьшего просвета между прутьями арматуры. В горизонтальных плитах, полах и покрытиях допускается увеличивать до  $1/2$  толщины плиты.

Крупный заполнитель рассеивают на фракции (5... 10, 10...20, 40, 40...80, 80... 160 мм) и применяют их в наилучшем соотношении.

Нежелательными примесями в крупном заполнителе являются глинистые, илистые и пылевидные фракции, органические примеси, сернокислые и сернистые соединения, реакционноспособные (содержащие аморфный кремнезем) минералы и породы. Нежелательны также игловатые и лещадные (плоские) зерна; они затрудняют плотную укладку бетонной смеси. Кроме того, в гравии нежелательными являются зерна слабых пород. В отличие от песка к крупному заполнителю предъявляются требования по прочности и морозостойкости.

### **Бетонная смесь и ее характеристика**

Важнейшими свойствами бетонной смеси, которые в большой степени определяют методы и правила производства бетонных работ, являются *степень ее подвижности (консистенция) и удобообрабатываемость*. Поэтому при подборе состава бетона учитывают не только требуемую прочность бетона, но и заданную условиями производства работ подвижность бетонной смеси. Подбор состава бетонной смеси заключается в том, чтобы при наименьшем расходе цемента получить смесь требуемой подвижности, удобную для транспортирования и укладки, которая после отвердения даст бетон требуемой прочности.

Независимо от подвижности бетонная смесь должна быть удобообрабатываемой. Это, в частности, значит, что при заполнении формы и уплотнении смесь должна сохранять однородность, не расслаиваться. Удобообрабатываемая бетонная смесь легко штыкуется при укладке в конусную форму, из-под формы при ее наполнении не вытекает вода, после снятия конуса бетонная смесь оседает, не разваливаясь и не осыпаясь.

Проверкой удобообрабатываемости бетонной смеси может служить, например, проба «на лопату». Ударяя плашмя лопатой по бетонной смеси, смотрят, какой след оставляет лопата. Если раствор не заполнил пустоты в щебенке, это означает, что его недостаточно и смесь неудобообрабатываемая. Если при ударе лопата погружается в бетонную массу, оставляя впадину, это указывает на избыток раствора. Такой бетон может быть сильно пористым.

Если к бетонной смеси добавить одновременно цемент и воду, то подвижность бетонной массы **увеличится**. Если при этом не изменить водоцементное отношение (отношение массы воды к массе цемента), то прочность бетона не изменится. Таким образом можно добиться нужной подвижности бетонной смеси при заданной прочности бетона.

Состав бетона задают:

1. В виде соотношения по массе количества цемента, песка и щебня (гравия), причем количество цемента принимают за единицу; количество воды указывают отдельно в виде водоцементного отношения В/Ц (например, состав 1 : 2,5 : 4,5 по массе; В/Ц — 0,6);
2. В виде количества материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона [например, 260 кг цемента, 170 л (кг) воды, 700 кг песка, 1280 кг щебня].

### Цементы, их разновидности и основные свойства

**Портландцемент.** По прочности (активности) портландцемент делят на марки: 300, 400, 500, 600. Применяют для бетона надземных, подземных и подводных конструкций. Нельзя применять портландцемент для бетона конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных вод и не имеющих при этом специальных мер защиты.

**Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ).** Представляет собой разновидность портландцемента, отличающуюся быстрым нарастанием прочности в ранние сроки (1-3 дня). Предел прочности при сжатии через 3 суток должен быть не ниже 25 МПа.

**Пластифицированный портландцемент.** Его получают добавлением (в процессе помола клинкера) пластифицирующей поверхностно-активной добавки (сульфитно-дрожжевой бражки) в количестве 0,15-0,25%, которая придает растворам и бетонам на этом цементе повышенную подвижность и удобоукладываемость.

**Тампонажный цемент.** Является разновидностью портландцемента, обладающей высокой прочностью и начальными сроками твердения. Это качество обуславливает его эффективное применение при тампонировании нефтяных и газовых скважин. Используют тампонажный цемент в виде цементного теста (без заполнителей) с ВЩ=0,4-0,5.

**Шлакопортландцемент.** Представляет собой способное затвердевать в воде и на воздухе вяжущее вещество, получаемое в результате совместного помола цементного клинкера, доменного гранулированного шлака и гипса или тщательного смешивания тех же материалов, измельченных отдельно. Шлакопортландцемент характеризует замедленное по сравнению с портландцементом твердение, особенно при низких положительных температурах. При твердении он выделяет меньше тепла, чем портландцемент. По прочности шлакопортландцемент делят на марки: 200, 300, 400 и 500.

**Пуццолановый портландцемент.** Его отличает от обычного портландцемента повышенное содержание активных минеральных добавок (трепела, диатомита, пемзы, туфа и др.), вводимых при помоле портландцементного клинкера. Пуццолановый портландцемент при твердении на воздухе дает большую усадку и меньший рост прочности по сравнению с обычным портландцементом, но лучшие результаты при твердении в воде и во влажных условиях.

Бетоны на пуццолановом портландцементе имеют высокую водостойкость, повышенную водонепроницаемость, но пониженную морозостойкость. По прочности пуццолановый портландцемент делят на марки: 200, 300, 400 и 500.

Его применяют для бетона подземных и подводных конструкций, подвергающихся воздействию пресных вод, а также наземных конструкций, находящихся в условиях повышенной влажности. Нельзя применять пуццолановый портландцемент для бетона конструкций, подвергаемых быстрому высыханию и эксплуатируемых в переменных влажностном и температурном режимах.

**Контроль качества цементов.** Внешний осмотр выполняют на глаз и на ощупь, устанавливая, что цемент не отсырел и не содержит заметных посторонних примесей.

**Проверка сроков схватывания цементного теста.** Сначала определяют нормальную густоту цементного теста на специальном приборе. Если пестик диаметром 10 мм и длиной 50 мм, будучи погружен в цементное тесто, заполняющее кольцо высотой 40 мм и имеющее форму усеченного конуса со средним диаметром 70 мм, не достигает дна на 5-7 мм, то густоту считают в норме. *Густоту цементного теста определяет количество воды в процентах от массы цемента.* Обычные портландцементы требуют 23-26% воды, пуццолановые — 27-32%.

Заменяя пестик в стандартном приборе иглой диаметром 1,1 мм, определяют сроки схватывания. Началом схватывания считают время, прошедшее с момента приготовления цементного теста до момента, когда игла не дойдет до дна на 0,5-1 мм. Время от момента затворения теста до момента, когда игла проникает в тесто не более чем на 1 мм, считают концом схватывания цемента. По стандарту требуется, чтобы начало схватывания цементного теста наступило не ранее 45 минут, а конец — не позднее 12 часов после затворения.

**Проверку равномерности изменения объема** выполняют кипячением в течение 4 часов лепешек из цементного теста после суточного их хранения во влажном воздухе. Наличие в лепешках вспучиваний, отслоений, трещин, идущих от краев к середине, глухой звук этих лепешек при постукивании свидетельствуют о непригодности цемента.

**Проверка прочности (активности) цемента.** Для этого изготавливают и испытывают на изгиб до разрушения стандартные образцы-балочки размером 40x40x160 мм. Полученные после этого половинки балочек испытывают на сжатие. Образцы изготавливают из раствора состава по массе 1:3 с «нормальным» (Вольским) песком. Раствор должен быть пластичной консистенции, определяемой в соответствии с требованиями стандарта.

Со временем активность цемента снижается. Поэтому при хранении цемента свыше двух месяцев должна быть выполнена повторная проверка его качества.

Цемент хранят строго по *маркам и видам*. Запрещено смешивать в одном закрое, бункере или силосе цементы разных партий.

### Добавки к вяжущим в бетонах

Добавки вводят в состав вяжущих в процессе приготовления растворов и бетонов с целью изменения некоторых их физико-химических свойств (подвижности, удобоукладываемости, скорости твердения).

Количество вводимых добавок устанавливают по имеющимся указаниям или на основании лабораторных испытаний.

Добавки к вяжущим веществам в бетонах делят по назначению на:

- Активные минеральные, повышающие стойкость вяжущих в водной среде;
- Тонкомолотые наполнители, уменьшающие расход цемента;
- Ускоряющие или замедляющие схватывание и твердение цемента;
- Противоморозные;
- Поверхностно-активные, повышающие длительность хранения цементов, уменьшающие водопотребность цемента и расход его для бетонов и растворов, а также повышающие водонепроницаемость и морозостойкость бетонов и растворов.

**Добавки, ускоряющие твердение.** Ускорителями твердения цементов являются водные растворы хлористых солей (хлористого кальция и др.). При твердении бетона в обычных условиях можно вводить хлористого кальция (считая на безводную соль) 0,5-

2% массы цемента. В неармированных бетонах количество хлористого кальция может быть повышено до 3%.

**Добавки противоморозные.** Эти добавки снижают температуру замерзания воды в Сетоне; их применяют при зимнем бетонировании.

**Поверхностно-активные добавки (пластификаторы).** Пластифицирующие добавки резко улучшают структуру (строение) цементного теста и увеличивают подвижность свежеприготовленного раствора или бетонной смеси. Введение пластифицирующих добавок в раствор и бетонную смесь позволяет уменьшить количество воды для достижения заданной подвижности и повышает их прочность, плотность и морозостойкость.

Наиболее часто применяют **твердые и жидкие концентраты сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ)**. Концентраты СДБ поступают на строительство в жидком и твердом виде. Жидкий концентрат СДБ — густая жидкость темно-коричневого цвета, содержащая не менее 50% сухого вещества; твердый концентрат СДБ — темно-коричневая масса с содержанием 75-80% сухого вещества.

В последние годы начато применение суперпластификаторов, сильно повышающих подвижность бетонной смеси и позволяющих применять безвибрационную ее укладку.

**Комплексные добавки.** Смесь добавок-ускорителей и пластификаторов позволяет улучшить свойства бетонной смеси и бетона без снижения интенсивности твердения бетона. В практике обычно применяют хлористый кальций в сочетании с СДБ. Добавка хлористого кальция способствует развитию коррозии арматуры, поэтому целесообразно применять ее в сочетании с нитритом натрия, являющимся ингибитором, т. е. веществом, предохраняющим арматуру от коррозии. Обе добавки вводят примерно в равных количествах.

### **Заполнители для тяжелых бетонов**

Заполнители (песок, гравий, щебень и др.) образуют в бетоне и растворе жесткий скелет и уменьшают усадку при твердении цементного камня.

Зерна мелкого и крупного заполнителей должны быть твердыми и прочными, не содержать вредных примесей больше установленного предела. В целях уменьшения расхода цемента зерновой состав заполнителей необходимо специально подбирать из расчета обеспечения плотной структуры бетона.

Заполнители для тяжелого бетона разделяют по крупности зерен: на крупные — щебень и гравий с размерами зерен 5-150 мм и мелкие — песок с размерами зерен 0,15-5 мм.

Гравий и щебень разделяют по крупности зерен на фракции: 5-10, 10-20, 20-40 и 40-70 мм. По согласованию с потребителем поставщик может поставлять мелкий щебень фракции 3-10 мм (вместо 5-10 мм), а также щебень фракций 10-15, 15-20, 25-40 мм и фракций крупнее 70 мм (70-120 или 70-150 мм). Допускают также по согласованию сторон поставку гравия (щебня) в виде смеси двух (или более) смежных фракций.

Наибольшая крупность гравия (щебня) в конструкциях не должна превышать  $1/4$  наименьшего размера сечения, а в железобетонных —  $3/4$  наименьшего расстояния между стержнями арматуры. Наибольшая крупность заполнителя должна также соответствовать допустимой для применяемого смесителя. Для бетоносмесителей циклического действия вместимостью (по объему готового замеса) до 165 л допустим заполнитель крупностью 40 мм; вместимостью 165 л и более — крупностью 70 мм. В гравитационных смесителях циклического действия вместимостью свыше 500 л (по готовому замесу) могут применять заполнители крупностью 120 мм. Крупность

заполнителя и его зерновой состав определяют в лаборатории просеиванием через стандартный набор сит.

Показателем механической прочности крупного заполнителя служит его «дробность» при сжатии (раздавливании) в цилиндре, характеризуемая потерей в массе материала за счет его измельчения при раздроблении и просеивании сквозь сито.

Важными характеристиками щебня является также его *морозостойкость* (Мрз 15, 25, 50, 100, 150, 200 и 300 циклов замораживания и оттаивания) и объем пустот. В песке объем пустот должен быть не более 40%, в гравии — 45% и щебне — 50%. Приблизительно объем пустот легко определить, наполняя водой мерную кружку с высушенным заполнителем: объем пустот равен объему налитой воды.

Количество глинистых примесей должно составлять в песке не более 2%, в гравии и щебне — не более 1% массы. Содержание глинистых и пылевидных примесей в песке определяют отмачиванием его в стеклянном цилиндрическом сосуде с водой. В осадке песок находится внизу, а пыль и глина — хорошо заметным слоем поверх него. Измерив толщину слоя примесей и осевшего песка, подсчитывают процентное содержание глинистых частиц.

Для улучшения свойств заполнителей выполняют *обработку* (обогащение) последних, как правило, в карьере. Так, зерновой состав песка может быть улучшен смешиванием местного мелкого песка с более крупным (привозным) или с высевами от дробления щебня (применение мелких песков приводит к повышению расхода цемента). Обогащение крупных заполнителей, загрязненных илом и глиной, может быть достигнуто промывкой, которую следует выполнять в карьере, или сухим способом — грохочением после подсушивания в сушильном барабане. Промывку песка для освобождения его от глинистых примесей практикуют редко, так как обычно она экономически невыгодна.

На месте заполнители принимают по объему с обмером в штабелях или транспортных средствах. При приемке песка следует учитывать его способность несколько увеличиваться в объеме по мере увеличения влажности. При влажности песка 1-3 % объем его увеличивается до 10%, а при влажности 3-10% — до 15%. Наибольший объем песок имеет при 5-7% его влажности.

### Заполнители для легких бетонов

Пористыми неорганическими заполнителями для легких бетонов называют сыпучие материалы с насыпной плотностью не выше 1200 кг/м<sup>3</sup> при крупности зерен до 5 мм (песок) и не выше 1000 кг/м<sup>3</sup> при крупности зерен 5-40 мм (щебень, гравий). По происхождению заполнители бывают природные и искусственные. Наибольшее распространение получили искусственные заполнители — керамзит, аглопорит, перлит, шлаковая пемза, гранулированный шлак, наилучшим образом отвечающие предъявляемым к ним требованиям.

Керамзитовый гравий получают обжигом легкоплавких глин до вспучивания, происходящего в интервале температур между их размягчением и спеканием. Плотность керамзита для конструктивных бетонов — 400-800 кг/м<sup>3</sup>, для теплоизоляционных — 300-500 кг/м<sup>3</sup>.

Аглопоритовый щебень получают при дроблении пористых кусков, образующихся в процессе спекания на агломерационных решетках смеси глин (или суглинков) с отходами топлива, содержащими свыше 10% несгоревшего угля. Объемная плотность щебня — 400-800 кг/м<sup>3</sup>. Керамзитовый и аглопоритовый песок — результат дробления щебня (гравия) с измельчением до фракций менее 5 мм.

Перлит (щебень и песок) плотностью 250-400 кг/м<sup>3</sup> является результатом процесса вспучивания вулканических пород с увеличением их в объеме в 6-12 раз при нагреве до 1100°С.

Шлаковую пемзу, перерабатываемую на щебень и песок, получают в результате поризации расплавленных доменных шлаков при охлаждении их паром, а гранулированный шлак — в результате поризации тех же шлаков при быстром охлаждении их водой. Плотность шлаковой пемзы — 500-1200 кг/м<sup>3</sup>, гранулированного шлака — 800-1200 кг/м<sup>3</sup>.

Природными пористыми материалами являются вулканические породы — пемза и туфы, дроблением которых получают щебень и песок. Эти материалы применяют преимущественно там, где они являются местными (например, в Армении).

По крупности зерен пористые заполнители разделяют на фракции: до 1,2; 1,2-5; 5-10. 10-20, 20-40 мм. По показателям плотности в сухом состоянии (в кг/м<sup>3</sup>) пористые заполнители делят на марки: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1000 — для щебня (гравия) и песка; 1200 — только для песка.

При проверке качества пористых заполнителей в соответствии со стандартом материал подвергают различным испытаниям. В частности, определяют среднюю плотность, объем межзерновых пустот, плотность насыпную и в куске, пористость кусков, влажность и водопоглощение материала. Определяют также прочность заполнителя, его морозостойкость, а также зерновой состав.