

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Г. В. ПРОВАТОРОВА

# ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Курс лекций по дисциплинам  
«Материаловедение», «Технология конструкционных материалов»,  
«Строительные материалы»

Часть 1



Владимир 2011

УДК 624.13

ББК 38.58

П78

Рецензенты

Кандидат технических наук, доцент  
зав. кафедрой строительных конструкций  
*С. И. Рощина*

Начальник лаборатории ОАО «Уренгойдорстрой»  
*И. В. Лебедева*

Печатается по решению редакционного совета  
Владимирского государственного университета

**Проваторова, Г. В.**

П78      Дорожно-строительные материалы : курс лекций по дисциплинам «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Строительные материалы». В 2 ч. Ч. 1 / Г. В. Проваторова ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 114 с. – ISBN 978-5-9984-0169-5.

Содержит основные понятия и определения дорожно-строительных материалов, классификацию, свойства, определение свойств и требования нормативных документов к ним, получение, область применения, нормативные источники и справочные данные.

Предназначен для студентов строительных специальностей дневной и заочной форм обучения.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Табл. 11. Ил. 3. Библиогр.: 6 назв.

УДК 624.13

ББК 38.58

ISBN 978-5-9984-0169-5

© Владимирский государственный университет, 2011

## РАЗДЕЛ 1. СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### ТЕМА. ВВОДНАЯ

#### Лекция 1. ПРИРОДНЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В дорожном строительстве в качестве строительных материалов из камня используют щебень, гравий, песок, минеральный порошок, брусчатку, шашку, бутовый камень для кладки и укрепительных работ, бортовой камень.

Все виды каменных материалов по происхождению подразделяют на природные и искусственные (рис. 1).

**Природные** каменные материалы получают из горных пород, специально разрабатываемых или попутно добываемых, и отходов горнообогатительных предприятий, входящих в три генетические группы пород: магматические, осадочные, метаморфические.

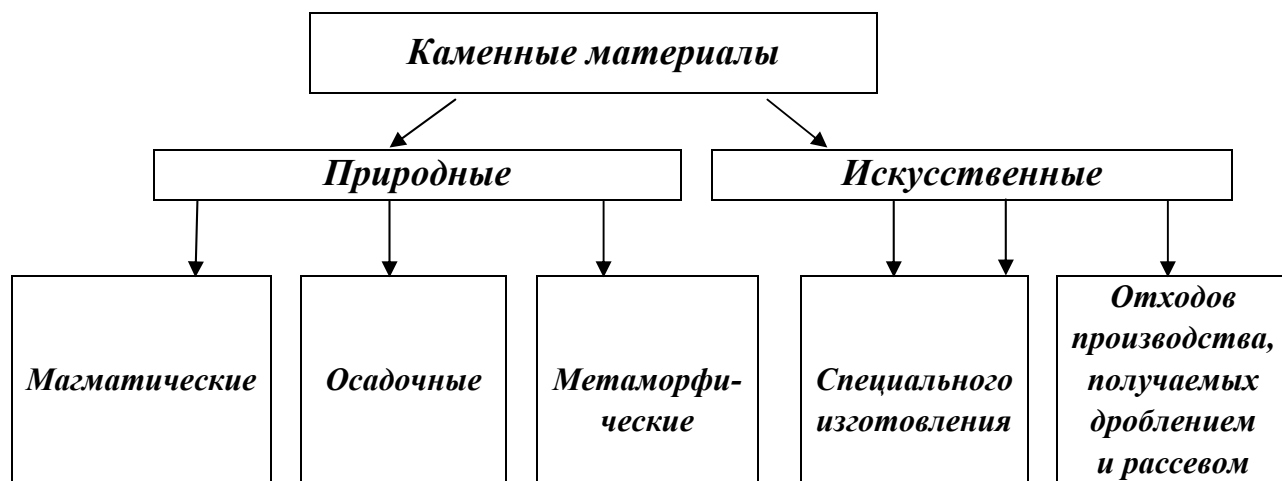


Рис. 1. Классификация каменных материалов

Все горные породы по происхождению подразделяют на три типа:  
- *магматические* (первичные), образование которых связано с остыванием магмы в различных термодинамических условиях земной коры,

определяемых совокупностью воздействия высоких температур и давления, а также концентрацией минеральных компонентов, содержащихся в расплаве. Различают интрузивные (глубинные) породы, которые образуются при равномерном остывании магмы, и эффузивные (излившиеся), возникающие при быстрой отдаче тепла и газов при низких давлениях и температурах.

- *осадочные* (вторичные) породы, сформированные на поверхности земли в условиях низких температур и атмосферного давления. Они являются результатом накопления продуктов разрушения других, ранее образованных пород, выпадения различных химических образований их водной среды и накопления продуктов жизнедеятельности растительных и животных организмов на суше и в воде. По генетическому признаку различают обломочные, химические и органогенные породы [2].

- *метаморфические* (измененные) породы, образовавшиеся из осадочных и магматических горных пород путем частичного или полного преобразования под влиянием высоких температур и давлений.

**Искусственные** каменные материалы получают специальным изготовлением и из отходов промышленности.

Для специального изготовления используют как естественные породы, так и технические.

Легкие, пористые каменные материалы изготавливают из глинистых пород, вулканического стекла, слюд, частично шлаков. Плотные материалы и изделия из шлаков и отходов горнообогатительной промышленности.

## **Лекция 2. ВНЕШНИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Процесс постепенного разрушения каменных материалов в конструкции можно предотвратить или замедлить с помощью различных методов защиты, способствующих снижению воздействий окружающей среды.

Защитные мероприятия можно разделить на две группы.

**Конструктивные** методы, которые выражаются в устройстве гладких или полированных поверхностей материалов, не способных задерживать дождевые и талые воды и пропускать агрессивные среды внутрь каменного материала.

**Химические** меры защиты заключаются в обработке каменных материалов водными растворами солей кремнефосфорной кислоты. Эти соли

(флюаты, а следовательно процесс – флюатирование) вступают в химическое соединение с растворимыми компонентами камня с образованием фтористых солей кальция, магния и кремнезема, нерастворимых в воде. Данные соединения уплотняют поверхность камня и делают ее недоступной для агрессивных сред.

Кроме флюатирования поверхность камня можно обрабатывать добавками оксида свинца или железистых соединений, увеличивающих погодоустойчивость поверхности.

Разновидностью химического метода защиты является *гидрофобизация* поверхности каменного материала и его пор. Для этих целей применяют водные растворы и эмульсии, полимерные вещества и водополимерные дисперсии. В дорожном строительстве наиболее распространенными являются кремнийорганические соединения: метилсиликонат натрия (ГКЖ-94), этилсиликонат натрия (ГКЖ-10), а также водный раствор мочевиноформальдегидной смолы.

Возникающие аморфные или кристаллические новообразования оказываются практически нерастворимыми в воде. Отлагаясь в порах камня, они уменьшают пористость и смачиваемость его поверхности, скорость капиллярного подсоса воды или грязи.

Совокупность химических и конструктивных мероприятий приводит к увеличению сроков службы изделий из каменных материалов.

## **ТЕМА. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **Лекция 3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Дорожно-строительные материалы в дорожной конструкции подвергаются воздействию механических сил, физических и химических факторов окружающей среды.

К *механическим* факторам относят нагрузки транспортных средств, массу конструкции, механическое воздействие льда, воды, ветра.

К *физическим* – атмосферные осадки, колебания температуры воздуха, солнечную радиацию.

К *химическим* – воздействия агрессивных сред, способность к растворимости, кристаллизации и перекристаллизации, старению и т. п.

Чтобы узнать, как сопротивляется действию указанных факторов дорожно-строительный материал в конструкции, определяют его свойства.

**Свойствами** материала называют его объективные особенности (признаки), которые проявляются в условиях производства, применения и работы в конструкции.

Если при применении и работе материала в дорожной конструкции проявляются главным образом механические, физические и химические свойства, то при производстве материалов – технологические свойства (дробимость, вязкость уплотняемость, нерасслаиваемость и др.).

Свойства материалов характеризуют **количественными** показателями, которые определяют в процессе лабораторных, полевых и производственных испытаний.

Показатели свойств материалов нормированы в государственных стандартах (ГОСТах) и других нормативно-технических документах.

#### *Лекция 4. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ*

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться разрушению и деформированию под действием внешних сил. Наиболее важным механическим свойством является прочность.

**Прочность** – свойство материала воспринимать в определенных пределах действия внешних сил без разрушения. Прочность обусловлена сцеплением частиц, из которых состоит строительный материал. При приложении внешней нагрузки в материале возникают внутренние силы упругости как следствие третьего закона Ньютона: «Действие равно противодействию по величине и противоположно по направлению».

Величину, численно равную силе, приходящейся на единицу площади сечения тела, называют **напряжением**.

Напряжение  $\sigma$  измеряют в единицах силы, отнесенной к единице площади:

$$\sigma = F/S \text{ (Па} = 1 \text{ Н/1 м}^2\text{); } 1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па.}$$

Строительные материалы в конструкциях, подвергаясь различным нагрузкам, испытывают напряжения сжатия, растяжения и изгиба. Поэто-

му прочность материалов характеризуют обычно пределом прочности при сжатии, растяжении, изгибе (рис. 2).







Рис. 2. Нагрузки и напряжения

Строительные материалы неоднородны, поэтому предел прочности определяют как средний результат испытаний не менее трех образцов. На результаты испытаний оказывают влияние формы и размеры образца, скорость приложения нагрузки, поэтому испытания строительных материалов проводят на стандартных образцах и при стандартных скоростях приложения нагрузки (табл. 1) [3].

Таблица 1

**Стандартные образцы для испытаний**

Форма образца	Эскиз образца	Испытываемый материал	Размеры образца, см
Куб		Природный камень Цементобетон Раствор	5×5×5 10×10×10 15×15×15 7,07×7,07×7,07
Цилиндр		Природный камень Асфальтобетон Цементобетон	$d = h = 5; 7; 10; 15$ $d = h = 5,05; 7; 10$ $d = 15; h = 30$
Призма (балочка)		Цементобетон Древесина	$\begin{cases} a = 10; 15; 20 \\ h = 40; 60; 80 \\ a = 2; h = 3 \end{cases}$
Половина балочки (образца-призмы)		Цемент	$a = 4$ $F = 25 \text{ см}^2$

**Предел прочности при изгибе** определяют путем испытаний образца материала в виде балочки на двух опорах. Нагружение проводят одной или двумя сосредоточенными силами до разрушения (рис. 3).

Предел прочности при изгибе балки прямоугольного сечения с одной сосредоточенной силой определяют как

$$R_{\text{изг}} = \frac{3 Pl}{2 bh^2}.$$

При двух одинаковых сосредоточенных силах, приложенных симметрично относительно оси балки, расчет ведется по следующей зависимости:

$$R_{\text{изг}} = \frac{3 P(1-a)}{bh^2},$$

где  $P$  – сила, действующая на образец;  $l$  – расстояние между опорами, м;  $b$ ,  $h$  – ширина и высота поперечного сечения соответственно, м;  $a$  – расстояние между силами.

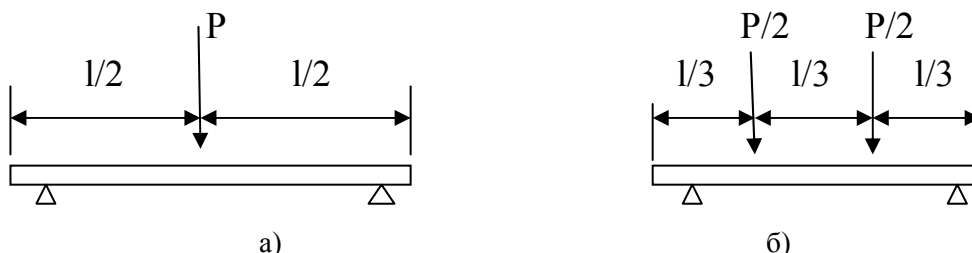


Рис. 3. Схема загрузки балки:

а – загрузка одной силой; б – загрузка двумя силами

Каменные материалы, полученные при переработке рыхлых пород (валуны, галька, гравий), металлургических шлаков или других искусственных материалов, испытывают не на отдельных образцах, а в смеси.

К этим испытаниям относят испытания на дробимость щебня или гравия при раздавливании в цилиндре и истираемости щебня или гравия в полочном барабане.

**Дробимость** щебня или гравия при сжатии в цилиндре – косвенный показатель прочности каченных материалов, по которому устанавливают их марку.

Для испытаний каменный материал рассеивают на фракции, отбирают пробу заданной массы и загружают в цилиндр. В цилиндр вставляют плунжер, затем проводят сжатие, доводят нагрузку до заданной и снимают. Выгружают раздробленный материал, просеивают через контрольное сито. Определяют дробимость



$$Д = \frac{m_1 - m_2}{m_1},$$

где  $m_1$  – навеска щебня, г;  $m_2$  – масса остатка на контрольном сите, г.

**Истираемость** щебня и гравия в полочном барабане характеризует способность материала изменять массу под действием истирающих усилий.

Полочный барабан имеет форму цилиндра. Пробу щебня заданной массы загружают в полочный барабан вместе с чугунными или стальными шарами, закрывают барабан, приводят во вращение с частотой 30 – 33 об/мин и дают заданное число оборотов.

После испытания удаляют материал, просеивают через сито с отверстиями 5 и 1,25 мм, остатки на ситах взвешивают. Определяют истираемость

$$И = \frac{m_1 - m_2}{m_1},$$

где  $m_1$  – масса пробы щебня,  $m_2$  – масса остатков на контрольном и предохранительном ситах.

**Упругость** – свойство материала самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешних сил.

Внешние силы, приложенные к образцу, вызывают изменение размеров деформируемого материала на величину  $\Delta l$  в направлении действия силы (при сжатии – укорочение, при растяжении – удлинение).

Показателем деформации является **относительная деформация**  $\varepsilon$ , которая равна отношению абсолютной деформации к первоначальному линейному размеру образца  $l$ :

$$\varepsilon = \Delta l / l.$$

Относительная деформация может быть обратимой и необратимой. Обратимая (упругая) деформация полностью исчезает после снятия нагрузки. Необратимая (остаточная) не исчезает после снятия нагрузки.

Основным показателем, характеризующим упругость материала, его жесткость, является **модуль упругости**  $E$ , который характеризует способность материала сопротивляться упругому изменению формы и размеров при приложении внешних сил

$$E = \sigma / \varepsilon.$$

**Хрупкость** – способность материала под действием внешних сил разрушаться без остаточных деформаций. Хрупкие материалы практически не деформируются перед разрушением.

**Пластичность** – способность материала под действием внешних сил необратимо деформироваться, заметно изменяя свою форму и объем, и только затем разрушаться.

## Лекция 5. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Физические свойства характеризуют физическое состояние материала или определяют его отношение к физическим процессам окружающей среды. К важнейшим физическим свойствам относятся: истинная, средняя и насыпная плотность, пористость и пустотность, влажность, водонасыщение и водопоглощение, морозостойкость.

**Истинная плотность** – масса единицы объема абсолютно плотного материала

$$\rho = m / V_a,$$

где  $m$  – масса сухого материала, г;  $V_a$  – объем материала в абсолютно плотном состоянии, см<sup>3</sup>.

Строительные материалы, за немногим исключением, (стекло, металлы) имеют поры, поэтому определение истинной плотности предусматривает измельчение высушенной пробы в порошок. Цель состоит в разрушении пор и достижении объема в абсолютно плотном состоянии  $V_a$ .

Истинную плотность определяют при помощи специальной тарировочной колбы – **пикнометра**. Просушенную пробу измельчают до полного прохода порошка через сито 0,14 мм. Порошок засыпают в колбу, взвешивают, заливают до половины объема дистиллированной водой и кипятят на песчаной бане, охлаждают до температуры окружающей среды, доливают водой до метки на пикнометре и снова взвешивают. После этого пикнометр моют, заполняют водой и снова взвешивают.

Объем порошка в абсолютно плотном состоянии определяют по формуле

$$V_a = \frac{(m_2 - m_1) + (m_4 - m_3)}{\rho_{ж}},$$

где  $(m_2 - m_1)$  – масса порошка в пикнометре;  $m_3$  – масса пикнометра с порошком и дистиллированной водой;  $m_4$  – масса пикнометра, заполненного дистиллированной водой;  $\rho_{ж}$  – истинная плотность жидкости, инертной по отношению к порошку.

Истинная плотность для строительного материала – величина относительно постоянная и определяется, прежде всего, его химическим составом.

**Средняя плотность** – масса единицы объема сухого материала в естественном состоянии с порами и трещинами

$$\rho_c = m / V,$$

где  $m$  – масса сухого образца,  $V$  – объем образца в естественном состоянии.

Среднюю плотность определяют на образцах правильной геометрической формы путем замера образца линейкой или штангенциркулем и расчета его объема. Затем высушенный образец взвешивают и определяют плотность.

**Насыпная плотность** – масса единицы объема рыхлого сыпучего материала.

Для определения насыпной плотности используют стандартный сосуд определенного объема в зависимости от крупности зерен сыпучего материала.

Сухой сыпучий материал (щебень, гравий, песок) насыпают с высоты 10 см в предварительно взвешенный сосуд до образования конуса. Конус снимают вровень с краями сосуда без уплотнения, после чего сосуд с материалом взвешивают и определяют насыпную плотность по формуле

$$\rho_n = \frac{(m_1 - m_2)}{V},$$

где  $m_1$  – масса мерного сосуда,  $m_2$  – масса сосуда с навеской,  $V$  – объем мерного сосуда.

Насыпная плотность характеризует, кроме пор в зернах материала, пустоты между зернами.

**Пористость** – степень заполнения объема материала порами. Пористость выражают в долях от объема материала, принимаемого за единицу или в процентах от объема. Зная среднюю и истинную плотность материала, можно вычислить пористость

$$П = (1 - \rho_c / \rho_n) 100,$$

где  $\rho_c$  – средняя плотность материала;  $\rho_n$  – истинная плотность материала.

Пористость строительных материалов колеблется в широких пределах от 0 до 98 %. Пористые материалы содержат открытые и закрытые поры.

**Открытая пористость** равна отношению суммарного объема всех водонасыщенных пор к объему материала

$$П_0 = \frac{(m_1 - m_2)}{V} 100,$$

где  $m_1$  – масса сухого образца;  $m_2$  – масса водонасыщенного образца;  $V$  – объем образца.

Открытые поры материала сообщаются с окружающей средой, поэтому они могут заполняться водой.

**Закрытая пористость**  $П_3 = П - П_0$ .

Увеличение закрытой пористости за счет открытой повышает водо- и морозостойкость материала.

**Пустотность** – степень заполнения объема рыхлого сыпучего материала пустотами. Выражается в долях от объема материала или в процентах. Вычисляется по насыпной и средней плотности материала

$$\Pi_n = (1 - \rho_n / \rho_c) 100,$$

где  $\rho_c$  – средняя плотность материала;  $\rho_n$  – истинная плотность материала.

Пустотность взаимосвязана с зерновым составом рыхлого сыпучего материала. Чем больше одномерных зерен в этом материале, тем выше его пустотность.

**Природная влажность** – количество воды, содержащееся в порах материала, выраженное по массе или объему в процентах. Зависит от погодно-климатических факторов, условий хранения материала, пористости и характера поверхности материала.

*Влажность по массе*

$$W_M = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} 100,$$

*влажность по объему*

$$W_o = \frac{(m_1 - m_2)}{V} 100,$$

где  $m_2$  – масса сухого образца;  $m_1$  – масса водонасыщенного образца;  $V$  – объем образца.

**Водопоглощение** – способность материала поглощать воду при длительном выдерживании в воде при нормальном атмосферном давлении и температуре 20 °С. Определяют погружением образцов материала в воду, характеризует открытую пористость.

Водопоглощение определяют по формулам:

*по массе*

$$W_M = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} 100,$$

*по объему*

$$W_o = \frac{(m_1 - m_2)}{V} 100,$$

где  $m_2$  – масса сухого образца;  $m_1$  – масса водонасыщенного образца;  $V$  – объем образца.

**Водонасыщение** – способность материала поглощать воду при вакууме или повышенном давлении.

В этих условиях открытые поры освобождаются от находящегося в них воздуха и заполняются водой, поэтому водонасыщение материала всегда больше, чем водопоглощение.

При увлажнении пористого материала изменяются некоторые его свойства, и прежде всего, уменьшается прочность.

Степень снижения прочности материала после его водонасыщения называют **водостойкостью**. Показателем водостойкости служит **коэффициент размягчения**

$$K_{\text{разм}} = R_{\text{вод}} / R_{\text{сух}},$$

где  $R_{\text{вод}}$  и  $R_{\text{сух}}$  – предел прочности при сжатии водонасыщенного и сухого образцов соответственно.

Коэффициент размягчения колеблется в пределах от 0 до 1. Каменные материалы с коэффициентом размягчения более 0,8 называются водостойкими.

**Морозостойкость** – свойство материала в водонасыщенном состоянии выдерживать требуемое число циклов попеременного замораживания – оттаивания. При этом допускается снижение прочности при сжатии материала не более чем на 15 % и потеря в массе не более чем на 5 %.

В зависимости от числа циклов попеременного замораживания – оттаивания, которое выдержал материал, устанавливается его марка по морозостойкости.

Цикл испытания включает замораживание образца, предварительно насыщенного водой, в морозильной камере при температуре 17 – 25 °С и последующее оттаивание в воде комнатной температуры. После 15 и 25 циклов и каждые последующие 25 циклов замораживания – оттаивания каждый образец осматривают и отмечают признаки разрушения. Каждый образец высушивают до постоянной массы, взвешивают и определяют потерю в массе

$$M_{\text{м}} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \cdot 100,$$

где  $m_1$  – масса образца до испытания;  $m_2$  – масса образца после испытания.

Если потеря в массе превысила допустимый предел, испытание прекращают и за показатель морозостойкости принимают предыдущее число циклов замораживания – оттаивания, при котором потеря в массе не превышает допустимой.

Потерю прочности после испытания на морозостойкость при заданных циклах испытания характеризуют **коэффициентом морозостойкости**

$$K_{\text{мрз}} = R_{\text{мрз}} / R_{\text{вод}}$$

где  $R_{\text{мрз}}$  и  $R_{\text{вод}}$  – предел прочности при сжатии образцов, прошедших испытания, и водонасыщенных образцов соответственно [5].

## Лекция 6. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Химические свойства определяют способность материала вступать в химические взаимодействия с окружающей средой и образовывать новые химические вещества.

**Коррозионная стойкость** – свойство материала не разрушаться в агрессивных средах (щелочная, кислая среда, морская и проточная вода).

Растворенные в морской воде соли могут разрушающе действовать на цементобетон, битумы нестойки к действию щелочной среды, карбонатные породы нестойки к действию кислой среды. Высокой стойкостью к агрессивным средам обладают керамические материалы с плотным черепком и некоторые пластмассы.

**Атмосферостойкость** – свойство материала не разрушаться под влиянием климатических условий (температуры воздуха, осадков, солнечной радиации, газов, микроорганизмов и др.) и не изменять своего состава и свойств.

К атмосферостойкости относят способность древесины сопротивляться гниению, стойкость битумных и дегтевых вяжущих к старению.

Для дорожной отрасли особый интерес представляет скорость изменения свойств асфальтобетонных, дегтебетонных, эмульсионно-минеральных и других типов покрытий за счет старения органических вяжущих, так как с увеличением срока эксплуатации автомобильных дорог уменьшается пластичность и увеличивается хрупкость, что приводит к интенсивному трещинообразованию.

**Растворимость** – свойство материала образовывать растворы при взаимодействии с водой.

**Твердение** – свойство материала переходить из пластичного состояния в твердое (цемент – цементное тесто – цементный камень).

**Прилипаемость (адгезия)** – свойство одного материала прилипать к поверхности другого. Это свойство обеспечивает прилипание органических вяжущих к каменным материалам, сцепление цементного камня с минеральной частью и арматурой. Чем выше адгезия, тем выше прочность конструкции в целом.

**Цементирующая способность** – свойства каменного материала в раздробленном и увлажненном состоянии отвердевать и приобретать при высыхании некоторую связность (цементироваться).

## Лекция 7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Технологические свойства характеризуют поведение материала при его производстве и применении.

**Дробимость** – способность природных и искусственных каменных материалов при ударе делиться на части различных размеров и формы.

Оценивают при пробном дроблении в камнедробилках различного типа с различными режимами дробления.

При испытании определяют энергоемкость процесса дробления, качество получаемого щебня и количество отходов.

Дробимость каменного материала считается хорошей, если выход щебня кубовидной и тетраэдрной форм составляет не менее 75 %. Количество зерен лещадной и игольчатой форм должно быть минимальным.

**Вязкость** – способность жидких или жидкообразных смесей оказывать сопротивление перемещению одних слоев по другим под действием внешних сил.

За единицу измерения вязкости принят паскаль-секунда (Па·с). Если напряжение сдвига величиной 1 Па вызовет в испытуемом материале градиент скорости  $1 \text{ с}^{-1}$ , вязкость составит 1 Па·с.

При производстве асфальтобетонных и цементобетонных смесей в процессе перемешивания вязкость должна быть минимальной для полного обволакивания каменных материалов вяжущим. В асфальтобетонных смесях это достигается повышением температуры, в цементобетонных – увеличением содержания воды и добавлением пластификаторов.

При транспортировании смеси необходимо, чтобы вязкость была максимальной, тогда смесь не будет расслаиваться.

**Нерасслаиваемость** – способность смеси, состоящей из минеральных зерен различной крупности и вяжущего, сохранять однородность при транспортировании и укладке.

**Уплотняемость** – способность асфальтобетонных и цементобетонных смесей приобретать заданную плотность при наименьших энергетических затратах.

Уплотняемость смеси в конечном счете определяет плотность монолитных материалов и влияет на их прочность, водопроницаемость, стойкость к агрессивным средам и воздействиям внешней среды.

## Лекция 8. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Эксплуатационные свойства характеризуют работу материала в элементах дорожной конструкции, главным образом в покрытии, на протяжении определенного отрезка времени [5].

Показателем сопротивления скольжению является **коэффициент сцепления  $\phi$** , который определяют как отношение горизонтальной силы  $H$ , необходимой для перемещения колеса по материалу, к вертикальной нагрузке  $P$ :

$$\phi = H/P.$$

Минимально допустимое значение коэффициента сцепления с точки зрения безопасности движения автомобиля составляет 0.4.

**Сопротивление истираемости** характеризует стойкость материала к воздействию движущихся транспортных средств.

Испытание на истирание материала проводят на специальных кругах. За показатель истирания принимают отношение потери массы материала к площади поперечного сечения образца.

**Светотехнические свойства** характеризуют светоотражательную (рефлекторную) способность материала дорожной конструкции.

Эти свойства зависят от текстуры и степени светлости материала.

**Противогололедные свойства** зависят от текстуры поверхности, степени гидрофобности покрытия и наличия на нем противогололедных реагентов. Адгезия льда к покрытию возрастает с увеличением шероховатости, уменьшается с увеличением гидрофобности.

Противогололедные свойства определяют по величине силы отрыва льда от поверхности керна, взятого из покрытия.



**Выносливость** – свойство материала сопротивляться многократному приложению механических воздействий. Показателем выносливости является количество нагружений, которое выдерживает материал до разрушения.

В целом эксплуатационные свойства характеризует **долговечность** дорожной конструкции, т.е. способность сохранять работоспособность до наступления предельного состояния.

Показателем долговечности может служить срок службы дорожной конструкции до капитального ремонта без потери основных эксплуатационных качеств.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Классификация каменных материалов для дорожного строительства.
2. Свойства дорожно-строительных материалов. Общие сведения.
3. Механические свойства дорожно-строительных материалов.
4. Физические свойства дорожно-строительных материалов: плотность, пористость, пустотность.
5. Физические свойства дорожно-строительных материалов: влажностные показатели, морозостойкость.
6. Химические свойства дорожно-строительных материалов.
7. Технологические свойства дорожно-строительных материалов.
8. Эксплуатационные свойства дорожно-строительных материалов.

## РАЗДЕЛ 2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### ТЕМА. КЛАССИФИКАЦИЯ. ДОБЫЧА И ПЕРЕРАБОТКА КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### Лекция 9. СКАЛЬНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Общие сведения

Природные каменные материалы изготавливают из скальных и обломочных горных пород.

*Скальные горные породы* обладают достаточно высокой прочностью и залегают в земной коре в виде массивов или трещиноватых слоев.

*Обломочные горные породы* – рыхлые (сыпучие) породы состоят из обломков скальных горных пород и залегают в виде скоплений.

Природные каменные материалы, являясь продуктом механической переработки горных пород, отличаются от последних формой и размерами, а также состоянием поверхности раскола отдельностей. Поэтому их свойства зависят от состава исходной горной породы и ее состояния.

Природные каменные дорожно-строительные материалы получают из скальных горных пород путем механической переработки и обработки, придавая при этом кускам горных пород определенные размеры и форму, а в отдельных случаях, подвергая их обработке (шлифовке, полировке и т. д.).

Скальные горные породы как исходное сырье для изготовления каменных материалов обладают уже в природном состоянии рядом необходимых физико-механических свойств.

Каменные материалы, полученные при переработке скальных пород, используют при строительстве искусственных сооружений, устройстве дорожных одежд, дренажных и укрепительных работах, приготовлении асфальтобетонных и цементобетонных смесей [6].

### ***Классификация***

I. В зависимости от **назначения и свойств** скальных горных пород каменные материалы в строительстве применяют в виде:

- **колотого** – бут, шашка;
- **пиленого** – блоки;
- **штучного**, разной степени обработанности – брусчатка, облицовочные и бортовые камни;
- **дробленого материала** – щебень, высевки.

II. По **составу** горные породы могут быть:

- **простыми (мономинеральными)**, состоящими из одного породообразующего минерала;
- **сложными (полиминеральными)**, состоящими из нескольких минералов.

III. Помимо минералогического состава важным признаком, определяющим свойства горных пород, являются структура и текстура, изучаемые в дисциплине «Инженерная геология».

IV. По **происхождению (генезису)** горные породы могут быть:

- магматическими;
- метаморфическими;
- осадочными.

Каменные материалы из магматических горных пород отличаются высокой прочностью, твердостью, вязкостью, стойкостью против выветривания. Хорошо обрабатываются и полируются.

Каменные материалы из осадочных горных пород характеризуются крайне разнообразными техническими свойствами, что объясняется условиями образования этих пород: перерывы в отложении минеральных осадков, разная их крупность, примеси, разная степень уплотнения и цементации. Характерной особенностью является пластовая форма залегания, слоистость, пористость.

Метаморфические горные породы занимают промежуточное место между магматическими и осадочными горными породами, ослабляя свойства первых и улучшая вторых.

### ***Лекция 10. ОБЛОМОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ***

Обломочные горные породы образуются в результате выветривания скальных горных пород. Продукты выветривания, состоящие из обломочного материала разной крупности, переносятся от мест своего образования во-

дами рек, озер, морей и ледников, ледниковыми льдами, а мелкие зерна – ветром. В процессе переноса и отложения материал сортируется или загрязняется примесями других пород.

Состав и качество обломочных рыхлых пород, и степень их загрязненности зависят от петрографического состава, исходных пород, характера процессов выветривания, условий переноса и загрязнения.

### ***Классификация***

I. По ***происхождению*** рыхлые обломочные горные породы могут быть:

- речные или аллювиальные (русловые, пойменные, дельтовые осадки);
- водно-ледниковые или флювиогляциальные (зандровые, озово-камовые, моренные);
- озерные и морские (прибрежные и глубинные);
- ветровые или эоловые (дюнные, барханные).

II. По ***крупности*** окатанных обломков рыхлые горные породы для дорожно-строительных работ условно делятся:

- на валуны; гальку; гравий; песок.

***Валунным камнем*** называют грубоокатанные, преимущественно округлой формы обломки горных пород крупнее 150 мм. Качество валунного камня обуславливается петрографическим составом породы, крупностью и формой обломков, а также степенью выветрелости.

По условиям залегания валунный камень может быть:

- верховой (полевой);
- низовой (недровый);
- речной (горных рек);
- морской или озерный (прибрежный и донный или глубинный).

Валуны малых размеров до 25 – 30 см называют ***сырцом***, так как он может применяться без дополнительной обработки. Более крупные валуны используют для получения каменного материала путем раскалывания и дробления.

***Гравием*** называют рыхлое скопление в разной степени окатанных обломков горных пород и минералов размером зерен от 3 до 70 мм.

В зависимости от времени образования различают гравий:

- современный (речной);
- древнего происхождения (моренный).

**Карьерный гравий** может залегать в виде сплошных скоплений, отдельных слоев, линз и содержать различное количество примесей галечника, песка, глинистых веществ.

**Рядовой гравий** может содержать различное количество песчаного материала. В том случае, когда добытый гравий содержит песка более 50 %, его называют **гравийно-песчаным** материалом.

Рядовой гравий по размеру зерен делят:

- на крупный – 70 – 5 (3) мм и средний – 40 – 5 (3) мм.

Карьерный гравий после перегрохотки и отделения песка называют **сортовым** и разделяют на следующие фракции:

- крупный – 70 – 40 мм; очень мелкий – 15 – 10 мм;

- средний – 40 – 25 мм; гравийная мелочь – 10 – 5 (3) мм;

- мелкий – 25 – 15 мм.

#### **Область применения**

Гравий применяют для устройства дорожных оснований, дренажных сооружений, в качестве крупного заполнителя в цементобетоны и дегтебетоны, в дробленном виде и асфальтобетонных смесях.

**Песком** называют рыхлые зернистые породы, состоящие из зерен минералов преимущественным размером от 5 (3) до 0,15 мм.

В зависимости от минералогического состава различают пески: кварцевые, слюдяные, глауконтовые, аркозовые, железистые, ракушечные, гумозные.

#### **Область применения**

Песок применяют для устройства подстилающих и выравнивающих слоев дорожных одежд, приготовления строительных растворов, цементобетона, асфальтобетона, устройства дренажей и т. д.

### **Лекция 11. ДОБЫЧА И ПЕРЕРАБОТКА ГОРНЫХ ПОРОД**

Скопление горных пород в земной коре называют **месторождениями**, разрабатываемые месторождения горных пород – **карьерами**.

Для выяснения пригодности горных пород и экономической целесообразности разработки месторождений проводят **разведку**, задачи которой

установить запасы и технические свойства горных пород, а также выявить рентабельность разработки.

По качеству горных пород, их запасам и условиям залегания, а также географическому расположению карьеры различают:

- 1) притрассовые, местного значения, расположенные вблизи строящегося объекта, со сроком действия до трех лет;
- 2) промышленные, территориально не связанные со строительными объектами, большими запасами доброкачественных пород и сроком действия не менее 10 лет.

В зависимости от условий залегания разработка горных пород может вестись:

- открытым способом в карьерах;
- подземным или подводным способом.

Разработка месторождений включает следующие основные технологические процессы:

- планировку местности и отвод атмосферных и талых вод;
- вскрышные работы;
- разработку и удаление в специальные отвалы выветрелых пород;
- отделение монолитов от породы;
- передвижение монолитов к месту переработки и их сортировку по качеству;
- развалку монолитов на мелкие глыбы нужных размеров и дальнейшую переработку и обработку в заданный вид каменной продукции;
- транспортирование к складу или на погрузку.

Работы в карьере ведут уступами высотой от 2 до 10 м.

Массивные горные породы разрабатывают с применением взрывных веществ. Взорванную горную породу грузят экскаватором в транспортные средства и направляют на переработку.

Рыхлые горные породы (валуны, гравий, песок) добывают открытым способом, как правило, экскаваторами. В большинстве случаев запасы рыхлых горных пород в одном месторождении невелики, поэтому их переработка ведется в передвижных установках.

Технологическая схема разработки рыхлых горных пород включает:

- вскрышные работы;
- разработку слоев, содержащих полезную породу;
- разработку пустых прослоек;
- транспортирование пород;

- сортировку гравийно-галечного материала по фракциям с отделением мелких песчаных и пылевато-глинистых фракций (менее 5 мм);
- отделение валунов и их дробление на щебень [1].

### ***Дробление горных пород на щебень***

Породу для переработки на щебень заготавливают преимущественно взрывным способом. Дробят, сортируют и обогащают щебень на комплексных механизированных установках. В зависимости от потребности щебень получают любой крупности.

Технологический процесс производства щебня состоит из последовательно выполняемых операций:

- подача горной массы в камнедробильную машину;
- дробление на щебень;
- подача дробленого материала к грохотам;
- сортировка по крупности;
- подача дробленого материала на склад или на объект.

Для дробления горной массы на щебень применяют щековые или конусные дробилки. Сортируют щебень по фракциям в цилиндрических вращающихся грохотах или на вибрационных (наклонных) ситах, которые могут служить моечным приспособлением.

Грохот состоит из секций с разными размерами отверстий. Секции с отверстиями располагают таким образом, что вначале выпадает щебень мелкой фракции, а по мере продвижения к выходному отверстию – более крупные щебенки.

### ***Переработка горных пород на штучные изделия***

Из добытого природного камня путем соответствующей обработки изготавливают штучные изделия.

***Бутовый камень*** (бут) получают при разработке карьеров взрывом или применении ударных инструментов, бывает различных размеров, но не более 50 см по наибольшему измерению и имеет неправильную форму. По форме бутовый камень может быть постелистый, рваный.

Прочность выбирается от назначения, но не ниже 20 МПа.

### ***Область применения***

Для кладки фундаментов, мостовых устоев, укрепления откосов насыпей, кладки подпорных стен.

**Шашка каменная для мощения** – грубоколотые камни неправильной формы, близкой к призме или усеченной пирамиде. Боковые грани не должны иметь резких выступов. По размеру делят: на высокую – 18 см; среднюю – 16 см; низкую – 14 см.

#### **Область применения**

Для мощения.

**Брусчатка** – колотые и тесанные бруски камня, приближающиеся по форме к параллелепипеду, имеющие по лицу фигуру прямоугольника. По высоте может быть: низкая – 10 см; средняя – 11 – 13 см; высокая – 14 – 16 см.

Верхняя и нижняя плоскости (лицо и постель) брусчатки – быть параллельными, а боковые грани – суживаться так, чтобы размер скола у подошвы низкой брусчатки был с каждой стороны не более 5 мм, а, у высокой и средней – 10 мм.

**Бортовой камень** – параллелепипед длиной от 700 до 2000 мм с наклонной или вертикальной лицевой гранью. Могут быть прямоугольные и криволинейные. Их верхняя часть, выступающая над покрытием, обтесана чисто, а нижняя – грубо.

#### **Область применения**

Для отделения проезжей части дороги от тротуаров, газонов и т. д.

**Камни для облицовки** могут быть плитообразные (толщиной до 15 – 25 см) и утолщенные с пирамидальной хвостовой частью (толщиной не менее 30 см).

**Плиты парапетные и карнизные** для мостов и набережных изготавливают следующих размеров: парапеты длиной 100 – 200 см, шириной не менее 90 см, высотой – 20 – 30 см.

Блоки и плиты для облицовки набережных, мостовых и быков подвергают тщательной обработке с лицевой стороны.

**Плиты тротуарные** изготавливают из слоистых и сланцевых горных пород. Они должны иметь форму прямоугольной или квадратной плиты размером от 20 до 80 см с относительно ровной поверхностью лица и постели толщиной не менее 4 – 5 см и не более 12 – 15 см.



## ТЕМА. СВОЙСТВА ПРИРОДНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

К *основным* свойствам природных каменных материалов относятся прочность, морозостойкость, истинная, средняя и насыпная плотности, водонасыщение и водопоглощение, зерновой состав, форма зерен; к *дополнительным* – сцепление с битумом, содержание загрязняющих и химически вредных примесей и др. [5, 6].

### Лекция 12. ТРЕБОВАНИЯ К ЩЕБНЮ (ГРАВИЮ)

Щебень – продукт дробления скальных горных пород.

По крупности щебень разделяют на фракции: 5 (3) – 10; 10 – 20; 20 – 40; и 40 – 70 мм. В отдельных случаях находят применение фракции 70 – 120 и 120 – 150 мм.

*Зерновой состав* каждой фракции должен удовлетворять требованиям ГОСТ 8267 – 93, представленным в табл. 2;  $D$  – максимальный диаметр зерен;  $d$  – минимальный диаметр зерен.

Таблица 2

#### Определение зернового состава

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	$d$	$0,5 (d + D)$	$D$	$1,25 D$
Полные остатки на ситах, % по массе	90 – 100	От 30 до 80	До 10	До 0,5

Содержание зерен *пластинчатой (лещадной) и игловатой* форм. К зернам пластинчатой и игловатой форм относят такие, толщина или ширина которых менее длины в три раза и более.

По *форме зерен* щебень подразделяют на три группы (содержание зерен пластинчатой и игловатой форм, % по массе):

- кубовидная до 15 %;
- улучшенная от 15 до 25 %;
- обычная от 25 до 35 %.

Смесь зерен щебня кубовидной формы дает наиболее плотную упаковку.

*Прочность* щебня характеризуют пределом прочности исходной горной породы при сжатии, дробимостью щебня при сжатии (раздавливании) в цилиндре и износом в полочном барабане.

В настоящее время прочность при сжатии исходной горной породы при оценке качества практически не определяется из-за трудоемкости.

По **показателю раздавливания** устанавливают **марку прочности** щебня, которая соответствует пределу прочности при сжатии исходной горной породы.

В зависимости от марки щебень делят на группы:

- очень прочный – 1200 – 1400;
- прочный – 1200 – 800;
- средней прочности – 800 – 600;
- слабый – 600 – 300;
- очень слабый – 200.

Марки щебня по износу определяют испытанием подготовленных проб в полочном барабане. По полученным данным оценивают щебень по ГОСТ 8267-93, маркировка приведена в табл. 3.

Таблица 3

**Марки щебня по износу**

Марка щебня по износу	И-I	И-II	И-III	И-IV
Потери в массе при испытании щебня, %	До 25	Свыше 25 до 35	Свыше 35 до 45	Свыше 45 до 60

В щебне нормируют **содержание зерен слабых пород** с пределом прочности при сжатии исходной горной породы в водонасыщенном состоянии до 20 МПа. По ГОСТу щебень марок по прочности, % по массе:

- М 1400, 1200, 1000 – не более 5 ;
- М 800, 600, 400 – не более 10;
- М 300, 200 – не более 15.

В щебне нормируют **содержание пылевидных и глинистых частиц** (размером менее 0,05 мм). Кроме того, выделяют **комки глины** с крупностью частиц от 1,25 мм до максимального размера зерен щебня данной фракции.

Для всех видов и марок щебня по прочности содержание глины в комках в общей массе пылевидных и глинистых частиц не должно превышать 0,25 % по массе.

В щебне из магматических и метаморфических горных пород содержание пылевидных и глинистых частиц не должно превышать – 1 %, в щебнях из осадочных горных пород марок 600 – 1200 – 2 %, а марок 200 – 400 – 3 %.

**Морозостойкость** щебня характеризуют числом циклов замораживания – оттаивания. По морозостойкости щебень подразделяют на марки:

Мрз (*F*) 15; 25; 50; 100; 150; 200; 300.

Щебень может быть получен при дроблении валунов и гравия. Он должен содержать дробленых зерен не менее 80 % по массе. К дробленным относят зерна с околотой поверхностью более чем наполовину.

### **Область применения**

Из всех природных каменных материалов, используемых в дорожном строительстве, щебень является основным. Его применяют для устройства оснований и покрытий, приготовления асфальтобетонных и цементобетонных, битумо- и эмульсионно-минеральных смесей, укрепительных работ, устройства дренажей и т. д.

Гравий – материал, получаемый после отсева из природных гравийно-песчаных смесей частиц мельче 5 и крупнее 70 мм. По фракциям гравий разделяют так же как и щебень.

**Прочность** гравия характеризуют его маркой, определяемой по дробимости при сжатии (раздавливании) в цилиндре (табл. 4). Марки гравия по истираемости в полочном барабане устанавливают в соответствии с ГОСТ 8268-93 (табл. 5).

Таблица 4

### **Марки гравия по дробимости**

Марка гравия по дробимости	Потеря в массе, %
Др 8	До 8
Др 12	Свыше 8 до 12
Др 16	Свыше 12 до 16
Др 24	Свыше 16 до 24

Таблица 5

### **Марки гравия по истираемости**

Марка гравия по истираемости	Потеря в массе, %
И-I	До 20
И-II	Свыше 20 до 30
И-III	Свыше 30 до 40
И-IV	Свыше 40 до 50

Содержание зерен слабых пород, а также пылевидных, глинистых частиц должно быть таким же, как в щебне.

По морозостойкости гравий подразделяют на те же марки, что и щебень.

### **Область применения**

В дорожном строительстве наиболее востребованными являются дробленый гравий и щебень из гравия, который применяется в тех же случаях, что и щебень.

### **Лекция 13. ТРЕБОВАНИЯ К ПЕСКУ**

Требования к песку определяются ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ».

Качество песка оценивают зерновым и минералогическим составом, содержанием пылевидных, глинистых, илистых частиц и органических примесей.

В отдельных случаях возникает вопрос об определении дополнительных свойств: износо- и морозостойкости, фильтрационной и потенциально реакционной способности и др.

Песок в соответствии с ГОСТом подразделяют на три вида:

- природный: обогащенный и фракционированный;
- дробленый: дробленый обогащенный и дробленый фракционированный;
- дробленый из отсевов и дробленый обогащенный из отсевов.

**Зерновой состав** песка является основным классификационным признаком, по которому устанавливают его пригодность для строительства.

Зерновой состав определяют путем отсева на ситах размерами 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм по следующей методике.

1. Отбирают пробу песка массой 2 кг, высушивают и просеивают сквозь сита с отверстиями 5 – 10 мм для определения засоренности песка щебнем или гравием:

$$Гр_{10} = (m_{10} / m)100; \quad Гр_5 = (m_5 / m)100,$$

где  $m_{10}$ ,  $m_5$  – частные остатки на ситах 10 и 5 соответственно, г;  $m$  – масса пробы, г.

2. Из пробы, прошедшей через сито № 5, отвешивают 1 кг и просеивают через набор сит № 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм.
3. Если песок содержит глинистые частицы, навеску предварительно промывают с отмучиванием полученной суспензии. Содержание отмученных частиц суммируют с проходящими через сито № 0,14;

4. По результатам просеивания определяют частный остаток на каждом сите

$$d_i = (m_i / m)100,$$

где  $m_i$  – масса остатка на данном сите, г;  $m$  – масса всей навески, г.

5. Затем вычисляют полный остаток на каждом сите

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

где  $a_{2,5} + a_{1,25}$  – сумма частных остатков на всех предыдущих ситах (менее № 5);  $a_i$  – частный остаток на данном сите, %.

6. Зерновой состав песка характеризуют модулем крупности

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100,$$

где  $A_{2,5}$  и другие – полные остатки на ситах, %.

По модулю крупности и полному остатку на сите № 0,63 пески подразделяют на четыре группы (табл. 6).

Таблица 6

**Классификация песка по крупности**

Группа песка	Модуль крупности	Полный остаток на сите № 0,63, % по массе
Крупный	Свыше 2,5	Свыше 45
Средний	Свыше 2,0 до 2,5	Свыше 30 до 45
Мелкий	Свыше 1,5 до 2,0	Свыше 10 до 30
Очень мелкий	Свыше 1 до 1,5	До 10

Для устройства дорожных одежд и в качестве заполнителя для бетона используют крупный, средний и мелкий песок. Если пески не удовлетворяют по зерновому составу указанным требованиям, то применяют обогащенный или фракционированный песок. В качестве укрупняющей добавки к мелким пескам используют крупную фракцию дробленых песков из отсевов или природного песка.

Содержание зерен, проходящих через сито № 0,14 в природных и дробленых песках не должно превышать 0,5 %.

Наличие зерен крупнее 5 мм не должно превышать:

- в природном и дробленном – 10 % по массе;
- дробленном из отсевов – 15 %;
- обогащенном, дробленном обогащенном и дробленном и обогащенном из отсевов – 5 %;
- крупной фракции фракционированных песков – 10 % по массе.

Вторым показателем качества песка является *содержание в нем пылевидных, глинистых и илистых частиц*, определяемых отмучиванием (табл. 7).

Таблица 7

**Нормирование содержания примесей**

Песок	Содержание примесей, определяемых отмучиванием, % по массе	В том числе содержание глины в комках, % по массе
Природный	3,0	0,50
Обогащенный фракционированный:	2,0	0,25
- крупная фракция,	0,5	0,10
- мелкая фракция	1,5	0,20
Дробленный	4,0	0,35
Дробленный обогащенный	2,5	0,25
Дробленный фракционированный:		
- крупная фракция,	1,0	0,10
- мелкая фракция	2,0	0,20
Дробленный из отсевов	5,0	0,50
Дробленный обогащенный из отсевов	3,0	0,35

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Природные каменные дорожно-строительные материалы, получаемые из скальных горных пород.
2. Природные каменные дорожно-строительные материалы, получаемые из обломочных горных пород.
3. Добыча и переработка горных пород: классификация месторождений, основные технологические процессы.
4. Добыча и переработка горных пород: дробление горных пород на щебень, переработка на штучные изделия.
5. Требования к свойствам природных каменных материалов: к щебню и гравиию.
6. Требования к свойствам природных каменных материалов: к песку.

## РАЗДЕЛ 3. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

### Лекция 14. ВОЗДУШНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ ИЗВЕСТЬ

Известь строительная воздушная – вяжущий материал, получаемый обжигом карбонатных горных пород (известняков, мела, доломитизированных известняков, ракушечника и др.) с содержанием в них глинистых веществ менее 6 %.

При наличии в сырье более 6 % глинистых примесей продукт обжига содержит значительное количество силикатов, алюминатов и ферритов, что придает извести гидравлические свойства.

Строительную известь по условиям твердения подразделяют:

- на воздушную, твердеющую и сохраняющую прочность на воздухе;
- гидравлическую, твердеющую и сохраняющую прочность на воздухе и в воде.

Обжиг сырья осуществляется при температуре 1000 – 1200 °С. Получаемая после обжига негашеная известь выпускается в виде комьев различного размера (*комовая*) белого и серого цвета или в виде порошка, получаемого после помола комовой негашеной извести (*кипелка*).

В осадочных горных породах, которые являются сырьем для производства воздушной извести, преобладает карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$ . Наряду с этим соединением в карбонатных породах содержатся в различных количествах карбонат магния  $\text{MgCO}_3$ , а также небольшое количество глины.

Разновидностью негашеной (воздушной) извести является молотая карбонатная известь – порошкообразная смесь совместно измельченных молотой негашеной извести и карбонатных пород – известняков и доломитов.

Гидравлическая известь получается путем обжига при температуре 900 – 1000 °С мергелистых известняков, содержащих от 6 до 20 % глинистых веществ.

Таким образом, главной активной составляющей негашеной извести является безводная окись кальция  $\text{CaO}$ , второстепенной – окись магния

MgO. По относительному содержанию кальция и магния различают известь:

- кальциевую – до 5 % MgO;
- магнезиальную – 5 – 20 % MgO;
- доломитовую – 20 – 40 % MgO.

### **Обжиг**

Сырье обжигают при температуре 1000 – 1200 °С до полного удаления углекислого газа. Обжиг сырья проводится в печах различных конструкций: шахтных, вращающихся, с «кипящим слоем», циклонно-вихревых и т. д.

Наибольшее распространение получили шахтные известеобжигательные печи (они могут быть пересыпными или коротко-пламенными, а также с выносными топками, работающими на длиннопламенном топливе), которые надежны в эксплуатации, позволяют использовать местные виды топлива и требуют меньшего его расхода.

В процессе обжига известняка углекислый кальций подвергается термической диссоциации со значительным поглощением тепла, процесс протекает по следующей реакции:



Массовая доля удаляемого CO<sub>2</sub> составляет 44 %, уменьшение объема продукта не превышает 10 – 15 % первоначального объема, поэтому полученный материал имеет большую пористость.

Признаком высокого качества извести является значительное содержание в ней CaO и MgO. Сумму глинистых окислов (CaO + MgO) в общем количестве извести называют ее активностью.

По активности и содержанию непогасившихся зерен определяют сорт извести (табл. 8).

*Таблица 8*

**Сорта извести**

Наименование показателя	Сорт		
	1-й	2-й	3-й
Содержание активных (CaO + MgO) в пересчете на сухое вещество, %, не менее	90	80	70
Содержание непогасившихся зерен в комовой извести, %, не менее	7	11	14



При неправильной эксплуатации печи при обжиге кусков больших размеров и повышенной плотности породы происходит неравномерный обжиг материала, он либо не дообжигается, либо пережигается.

Недожог и пережог извести в печи снижают ее качество. Особенно опасен пережог – остеклованная известь. Частицы пережога медленно гасятся с увеличением в объеме и могут вызвать трещины в изделиях. Недожог уменьшает выход материала, так как при гашении рассыпается в порошок.

Комовая известь является полуфабрикатом. Для превращения в рабочее состояние ее необходимо измельчать помолом или гашением.

### ***Помол***

Молотую негашеную известь получают путем помола в шаровых мельницах или помольных аппаратах другого типа (через сито с отверстиями № 0,08 мм должно проходить не менее 85 %).

#### ***Преимущества***

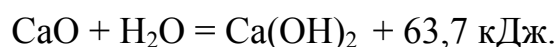
- молотая негашеная известь обладает способностью быстро схватываться и затвердевать;
- не имеет отходов, так как пережженные зерна размалываются в порошок и твердеют при смешивании с водой;
- применение молотой извести избавляет строительные площадки от организации творильного хозяйства;
- снижает трудоемкость производства;
- сокращает время сушки.

При помоле комовой негашеной извести можно вводить тонкомолотые минеральные добавки (золы, шлаки, трепелы, туфы и др.), что улучшает качество извести и позволяет регулировать сроки схватывания известкового теста.

### ***Гашение***

Более распространена в строительстве известь гашеная.

Гашение – затворение извести водой – процесс, протекающий с выделением большого количества тепла. Гашение протекает по следующей реакции:



При выделении теплоты часть воды превращается в пар, что вызывает разрыхление кусков комовой извести и превращает их в тонкий поро-

шок (размер зерен менее 0,01 мм) – гидратную известь – *пушонку*. Процесс гашения комовой извести в пушонку осуществляется в специальных аппаратах – гидраторах, на стройплощадке, в творильных ямах с большим количеством воды. Получают:

- известковое молоко (содержание воды более 50 %);
- известковое тесто (содержание воды менее 50 %).

По скорости гашения различают:

- быстрогасящуюся – менее 8 мин;
- среднегасящуюся – от 8 до 25 мин;
- медленногасящуюся известь более 25 мин.

*Недостатки*

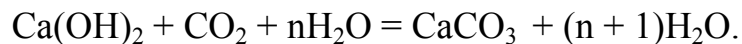
- медленно схватывается и твердеет;
- обладает низкой прочностью.

***Твердение***

*А. Твердение растворов на гашеной извести* состоит из двух одновременно протекающих процессов:

1. Испарение воды затворения и постепенная кристаллизация гидрата окиси кальция.

2. Карбонизация гидрата окиси кальция в присутствии воды при поглощении углекислого газа из воздуха

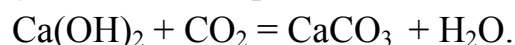


Карбонизация раствора протекает преимущественно в поверхностном слое, особенно интенсивно в присутствии влаги, в результате чего на поверхности образуется пленка, замедляющая процесс карбонизации.

В более глубоких слоях происходит медленная кристаллизация гидрата окиси кальция. Растущие в растворе кристаллы  $\text{Ca(OH)}_2$  срастаются между собой, образуя каркас, окружающий частицы песка и сцепляющийся с ним.

***Б. Твердение растворов на гашеной извести.***

Молотая негашеная известь взаимодействует с водой, образуя  $\text{Ca(OH)}_2$  с выделением тепла, которое способствует испарению излишней воды затворения. Частицы  $\text{Ca(OH)}_2$  срастаются между собой и под действием  $\text{CO}_2$  переходят в устойчивый карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$  [1]:



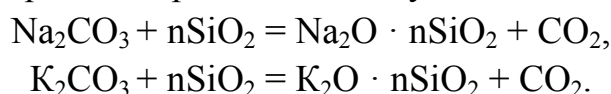
### **Область применения**

В дорожном строительстве известь применяется для укрепления грунтов в качестве самостоятельного вяжущего и как активная добавка при укреплении грунтов вяжущими материалами – цементами, битумами, местными минеральными вяжущими. Как добавка при производстве битумных и дегтевых эмульсий.

## **Лекция 15. РАСТВОРИМОЕ (ЖИДКОЕ) СТЕКЛО**

Для производства растворимого жидкого стекла сырьем служат в основном чистый кварцевый песок и кальцинированная сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или сернокислый натрий  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , значительно реже вторым компонентом является поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .

**Растворимое (жидкое) стекло** – натриевый ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ) или калиевый ( $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ) силикат, который получают путем сплавления в стекловаренных печах при температуре 1300 – 1400 °С в течение 7 – 10 часов измельченной смеси кварцевого песка с кальцинированной содой или сульфатом натрия (поташем). При этом происходят следующие химические реакции:



Полученный сплав сливается в вагонетки, из-за быстрого охлаждения застывает в виде отдельных кусков, которые называются силикат-глыбами.

Таким образом, основной частью растворимого стекла являются щелочные силикаты.

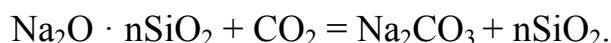
Значение  $n$  называют **модулем растворимого стекла**, который равен отношению количества кремнезема к количеству оксида натрия (калия)

$$n = \text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O} = 2 - 3,5 \quad (3 - 4).$$

Чем выше модуль, тем труднее растворяется стекло.

На производстве растворимое стекло применяют в жидком виде. Для этого куски силикат-глыбы загружают в автоклавы, где поддерживается давление 0,5 – 0,8 МПа в течение 2 – 3 ч. Материал приобретает состояние густой жидкости с плотностью 1,3 – 1,5 г/см<sup>3</sup>.

Жидкое стекло твердеет на воздухе вследствие высыхания и выделения аморфного кремнезема под воздействием углекислого газа по следующей реакции:



Для ускорения твердения и повышения водоустойчивости в жидкое стекло добавляют 10 – 15 % кремнийфтористого натрия ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ).

Жидкое стекло хранят и транспортируют в плотной таре.

### **Область применения**

Жидкое стекло применяют для закрепления грунтов в сочетании с раствором хлористого кальция, приготовления огнеупорных красок, замазок. Жидкое стекло – эффективное средство для защиты каменных материалов от выветривания, его применяют для изготовления кислотоупорных цементов. Кроме того, в последнее время жидкое стекло стали достаточно широко использовать для ремонта цементобетонных покрытий.

## **Лекция 16. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ**

### **Общие сведения**

Гипсовые вяжущие по технологии обжига делят на две группы:

- *гипсовые низкообжиговые быстротвердеющие* материалы, которые получают при нагреве сырья до 200 °С;

- гипсовые медленнотвердеющие вяжущие, получаемые при более высоких температурах (ангидритовый цемент,  $t = 600 - 750$  °С, эстрих-гипс,  $t = 800 - 950$  °С).

Сырьем для производства гипсовых вяжущих служит гипсовый камень, т. е. природный двухводный гипс –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и ангидрид, т. е. безводный сульфат кальция –  $\text{CaSO}_4$ , который встречается реже.

При тепловой обработке:

1. Природный двухводный гипс уже при  $t = 65$  °С начинает утрачивать кристаллизационную воду.

2. При  $t = 100 - 140$  °С превращается в полуводный гипс:



Полуводный гипс может быть в двух модификациях:

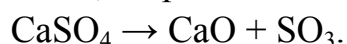
-  $\alpha$  – полугидрат, кристаллизуется в крупные кристаллы в виде длинных игл или призм. Образуется при нагревании гипсового камня в герметически закрытых аппаратах. В этих условиях вода из двугидрата выделяется в жидком состоянии,  $\rho = 2,72 - 2,75$  г/см<sup>3</sup>;

-  $\beta$  – полугидрат, образуется при нагревании двугидрата в открытых печах, вследствие чего кристаллизирующаяся вода удаляется в парообразном состоянии. Образовавшийся при этом полуводный гипс состоит из мелких кристаллов,  $\rho = 2,62 - 2,66$  г/см<sup>3</sup>.

3. При  $t$  от 200 до 400 °С полуводный гипс постепенно становится безводным и переходит в нерастворимый ангидрит («намертво» обожженный гипс).

4. Дальнейшее повышение температуры до 450 – 800 °С приводит к образованию ангидрида, который в порошкообразном состоянии при затворении водой очень медленно схватывается.

5. В интервале  $t = 750 – 1000$  °С ангидрит начинает диссоциировать, выделяя свободную известь CaO, по реакции:



Гипсовые вяжущие вещества условно можно разделить:

- на строительный гипс;
- формовочный гипс;
- высокопрочный гипс.

Строительный гипс является продуктом обжига тонкоизмельченного двуводного гипса, реже тонкого помола  $\beta$ -полуводрата. Относится к мелкокристаллическим разновидностям гипса, что увеличивает водопотребность при затворении, в затвердевшем состоянии обладает невысокой прочностью 2 – 16 МПа.

Формовочный гипс также состоит из  $\beta$ -полуводрата, отличаясь от строительного гипса более тонким помолом и более быстрым схватыванием.

Высокопрочный гипс является продуктом тонкого помола  $\alpha$ -полуводрата, получаемого в автоклаве в среде насыщенного пара при давлении 0,15 – 0,3 МПа;  $\alpha$ -модификация гипса обладает пониженной водопотребностью и имеет большую прочность до 20 – 25 МПа и выше.

Отличительной особенностью гипсовых вяжущих является их низкий срок схватывания. По срокам схватывания они разделяются на быстро-, нормально- и медленноотвердеющие (табл. 9).

Таблица 9

**Характеристика гипсовых вяжущих**

Виды гипсовых вяжущих	Индекс сроков схватывания	Сроки схватывания, мин	
		Начало, не ранее	Конец, не позднее
Быстротвердеющий	А	2	15
Нормальнотвердеющий	Б	6	30
Медленнотвердеющий	В	20	Не нормируется

Для продления сроков схватывания вводят добавки – замедлители (ингиторы) – казеиновый и малярный клей, ССБ, СДБ и др.

### ***Твердение гипса***

Процесс твердения гипса можно разделить на три взаимно накладывающихся периода.

1. При затворении водой происходит растворение полуводного гипса и насыщение раствора.

2. Дальнейшее выделение гипса в раствор протекает в коллоидном состоянии в виде студня, что соответствует периоду схватывания гипса.

3. Затем наступает процесс уплотнения и кристаллизации гипса с постепенным превращением студня в кристаллический сросток.

Последний период может быть ускорен умеренным просушиванием при температуре не выше 65 °С.

Чем тоньше помол, тем быстрее протекают указанные процессы; чем меньше воды было взято для затворения, тем выше прочность затвердевшего гипса.

По прочности гипсовые вяжущие подразделяют на 12 марок: Г-2; Г-3; Г-4; Г-5; Г-6; Г-7; Г-10; Г-13; Г-16; Г-19; Г-22; Г-25.

(Цифра определяет предел прочности при сжатии стандартного образца, МПа).

### ***Область применения***

Гипсовые вяжущие применяют, как самостоятельное вяжущее, как добавку при изготовлении портландцементов, для изготовления готовых форм и т. д.

## ***Лекция 17. МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ***

Магнезиальные вяжущие материалы получают при обжиге магнезита (каустический магнезит) или доломита (каустический доломит).

***Каустический магнезит*** изготавливают обжигом горной породы – магнезита ( $MgCO_3$ ) в шахтах или вращающихся печах при 650 – 850 °С, при этом углекислый газ удаляется, а магнезию ( $MgO$ ) размалывают в тонкий порошок и упаковывают в стальные бочки весом 150 кг, так как при хранении на воздухе каустический магнезит быстро теряет активность.

Каустический магнезит затворяют на растворе хлористого магния ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) или сернокислого магния ( $MgSO_4$ ).

Затворенный каустический магнезит на воздухе твердеет сравнительно быстро (начало схватывания не ранее 20 мин, конец схватывания не позднее 6 ч).

Прочность при сжатии образцов-кубиков, состоящих из трех частей магнезита и одной части сосновых опилок размером 3 – 3 мм, в 28-дневном возрасте достигает до 300 – 600 кг/см<sup>2</sup>.

**Каустический доломит** изготавливают обжигом горной породы – доломита ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) по той же технологии, что и магнезит.

При температуре до 900 °С происходит диссоциация по следующей реакции:  $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$ , а  $\text{CaCO}_3$  остается неразложившимся в виде балласта. После охлаждения продукт обжига размалывают и упаковывают в стальные бочки.

Каустический доломит обладает меньшей активностью по сравнению с каустическим магнезитом. Каустический доломит и каустический магнезит обладают способностью прочно связываться с древесными стружками и опилками.

### **Область применения**

Изготовление ксилолита и фибролита. Применяют также для приготовления штукатурных растворов, строительных деталей, пенобетона и др.

## **ТЕМА. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ**

### **Лекция 18. ХИМИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА. МОДУЛИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА**

**Портландцемент** – это гидравлический вяжущий материал, твердеющий как в воде, так и на воздухе и полученный в результате тонкого помола клинкера с добавкой гипса в количестве 3 – 5 %.

**Клинкер** получают путем равномерного обжига тонкодисперсной однородной сырьевой смеси определенного состава из известняка и глины.

Совместно с глиной при расчете состава могут добавляться в сырьевую смесь мергель, доменный шлак, нефелиновый шлам, опока, мергелистые известняки с содержанием глины до 22 – 25 % и др.

При помоле клинкера в состав цемента можно вводить активные минеральные добавки в количестве 20 % от массы цемента.

### ***Химический состав***

Химический состав портландцементов колеблется в сравнительно широких пределах и представлен следующими оксидами:

CaO – 63 – 67 %; SiO<sub>2</sub> - 20 – 24 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4 – 8 %; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2 – 4 %.

В качестве примесей обычно присутствуют (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) – 0,4 – 1 %; CO<sub>3</sub> – 0,3 – 1 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; TiO<sub>2</sub> и другие в небольших количествах. Следует отметить, что очень опасным является содержание MgO – периклаза, который очень медленно взаимодействует с водой и при этом увеличивается в объеме до 5 %.

### ***Минералогический состав***

Портландцементный клинкер имеет сложный минералогический состав, который определяет во многом свойства цемента. В портландцементном клинкере различают четыре основных минерала (табл. 10).

*Таблица 10*

#### ***Минералы портландцементного клинкера***

Минерал	Формула	Сокращенное обозначение	Примерное содержание, %
Трехкальциевый силикат (алит)	3CaO · SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	42 – 65
Двухкальциевый силикат (белит)	2CaO · SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	15 – 45
Трехкальциевый алюминат	3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	3 – 15
Четырехкальциевый алюмоферрит (целит)	4CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4CAFe	10 – 25

Общее содержание силикатов кальция в клинкере составляет около 75 %. Регулируя химико-минералогический состав и структуру клинкера, можно получать портландцемент необходимого качества [4].

Среди наиболее важных показателей качества цемента является его активность.

***Активностью*** портландцемента называют показатель предела прочности при осевом сжатии половинок образцов – балочек размером



4 × 4 × 16 см, приготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1 : 3 (по массе) и водоцементным отношением В/Ц = 0,4 в возрасте 28 суток твердения.

При изготовлении цементного раствора по стандарту используется песок Привольского месторождения, содержащего не менее 98 % кварцевых зерен размером 0,5 – 0,9 мм. Образцы изготовляют по стандартной методике.

**Маркой цемента** принято именовать величину его активности, но с учетом его предела прочности при изгибе.

Различают следующие марки портландцемента: 400; 500; 550; 600. В порядке исключения разрешается выпуск портландцемента с минеральными добавками марки 300.

### ***Модули портландцементного клинкера***

1. Характеристикой сырья и готового вяжущего служит основной (гидравлический) модуль

$$m = \frac{\text{CaO \%}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \%}, \quad m = 1,9 - 2,4.$$

2. При расчете состава сырья используется силикатный (глиноземный) модуль

$$n = \frac{\text{SiO}_2 \%}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \%}, \quad n = 1,7 - 3,5.$$

3. Алуминатный (глиноземный) модуль

$$p = \text{Al}_2\text{O}_3 \% / \text{Fe}_2\text{O}_3 \%, \quad p = 1,0 - 2,5.$$

### ***Влияние составляющих портландцементного клинкера на свойства полученных материалов***

Силикатные минералы – алит и белит – являются основными и составляют обычно 75 – 78 % от общего количества.

Минералогический состав клинкера, а следовательно, и цемента непосредственно связан со свойствами портландцемента.

**Алит** – определяет высокую прочность, ее быстрое нарастание, а также высокую гидравлическую активность, т. е. скорость твердения, и другие важные свойства портландцемента.

**Белит** – твердеет очень медленно в начальный период, а затем в дальние сроки (1 – 2 года) активизируется.

**Трехкальциевый алюминат** при затворении его водой сразу схватывается, выделяя значительное количество тепла, твердеет только на воздухе, увеличение его содержания приводит к снижению морозостойкости, содержание трехкальциевого алюмината в клинкере для цементов дорожных покрытий не допускается более 8 %.

**Целит** быстро схватывается, медленно твердеет, приобретает прочность в дальние сроки твердения.

### *Лекция 19. ПРОИЗВОДСТВО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА*

К основным технологическим операциям при производстве портландцемента относятся: добыча сырья и приготовление сырьевой смеси, обжиг сырьевой смеси и получение цементного клинкера, помол клинкера с различными добавками.

#### ***Сырье***

Для приготовления сырьевой смеси используют известняки, мел, глину, соотношение между которыми устанавливается с расчетом их по химическому составу. Сырьевая смесь обычно состоит из 75 – 78 %  $\text{CaCO}_3$  и 22 – 25 % глины.

Природным сырьем такого состава являются известняковые мергели.

В состав сырьевой смеси можно вводить корректирующие добавки (для увеличения содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – пиритные огарки,  $\text{SiO}_2$  – песок,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – бокситы).

В зависимости от характера приготовления сырьевой смеси для ее обжига существует три способа производства портландцементного клинкера:

- сухой;
- мокрый;
- комбинированный.

Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки. В нашей стране наиболее широко распространен мокрый способ, хотя в последнее время наметилась тенденция к переходу на технологию сухого способа.

### *Мокрый способ*

Для производства портландцемента по мокрому способу известняк подвергают дроблению в щековых дробилках. Глину измельчают в валковых дробилках, а затем в водной суспензии в болтушках. Если вместо известняка используют мел, то его измельчают в мельницах или с водой в болтушках.

Глиняный или меловой шлам и раздробленный известняк (в заданных соотношениях) транспортируют в сырьевую мельницу для совместного помола. Полученный сырьевой шлам влажностью 32 – 45 % перекачивают насосами в вертикальные резервуары – шламбассейны, где он корректируется для достижения заданного химического состава.

Далее шлам из вертикальных шламбассейнов поступает в горизонтальные шламбассейны, где и хранится до подачи в печь для обжига. Полученный клинкер охлаждают в холодильниках, дробят совместно с гипсом и добавками, а затем направляют для помола в цементные мельницы или для хранения на склад.

Из мельницы цемент транспортируют в силосные склады, а затем отгружают потребителю.

### *Сухой способ*

При производстве цемента сухим способом известняк и глину после предварительного дробления и сушки, загружают в сырьевую мельницу для одновременного помола и сушки, в результате чего получают сухую сырьевую муку с влажностью 1 – 2 %. Для сухого помола на новых цементных заводах, применяют мельницы «Аэрофол», в которых совмещены процессы мелкого дробления, сушки и помола.

Сырьевая мука подается в смесительные силосы, в которых производятся усреднение и корректировка ее состава, а также создаются запасы муки, необходимые для бесперебойной работы печей.

Затем сырьевая мука поступает в циклонные теплообменники, там она высушивается, дегидратируется и частично декарбонизируется во взвешенном состоянии. Из циклонов мука подается на обжиг во вращающиеся печи, готовый клинкер пересыпается в холодильник и после охлаждения поступает на склад.

Последующие технологические операции аналогичны соответствующим операциям мокрого способа.

### *Комбинированный способ*

Комбинированным способом называют способ производства, при котором сырьевая смесь для обжига подготавливается в виде гранул.

1. Шлам обезвоживают до влажности 16 – 18 % и полученный «сухарь» перерабатывают на специальных грануляторах.
2. Можно увлажнять сырьевую муку до 12 – 15 % и из нее изготавливают те же гранулы для обжига.

К преимуществам данного способа можно отнести тот факт, что он дает до 20 – 30 % экономии топлива по сравнению с мокрым способом.

При всех способах важно обеспечить бесперебойное поступление сырьевой смеси на обжиг для получения из нее портландцементного клинкера [4].

### ***Обжиг***

Обжиг сырьевой смеси – центральный этап технологии получения цемента. Для обжига применяют два вида печей: шахтные и вращающиеся.

Шахтные печи применяют иногда при сухом способе производства, особенно при использовании природного сырья, когда вся подготовка сырья сводится к его дроблению.

Основным видом печей при мокром и сухом способах производства являются вращающиеся – длиной от 150 до 230 м, диаметром 5 – 7 м и короткие – длиной 60 – 95 м, с различными запечными устройствами (конвейерный кальцинатор, циклонные теплообменники, холодильники и т. д.).

Чаще всего применяют печи длиной 170 – 185 м.

Вращающаяся печь устанавливается с небольшим уклоном (2 – 5°) в сторону передвижения сырьевой смеси (для продвижения обжигаемого сырьевого материала вдоль печи). С помощью электродвигателя печь вращается с частотой 1 – 2 об/мин.

Со стороны нижнего (горячего) конца навстречу движущемуся материалу через форсунку в печь поступают горячие газы. Для их образования топливо может быть жидким (нефть, мазут), газообразным (природный газ) и твердым (каменный уголь).

Внутри печи, выложенной надежной огнеупорной футеровкой, находятся различные внутripечные устройства для лучшего перемешивания и интенсивного прогрева сырья (фильтры – подогреватели шлама, цепные завесы, металлические и керамические теплообменники).

Таким образом, сырьевая смесь проходит по длине печи несколько температурных зон с возрастающей температурой, постепенно спекаясь, превращаясь в гранулы размером от 5 до 40 мм – клинкер. При выходе из

печи клинкер охлаждается до 100 – 200 °С с помощью холодильных устройств.

На различных участках печи по ее длине сырьевой материал, обжигаясь, претерпевает физико-химические изменения. Процесс обжига можно разделить на следующие этапы.

1. В *зоне сушки* при 100 – 150 °С сырьевая смесь теряет свободную гигроскопическую воду, а при температуре, равной 400 – 580 °С, происходит обезвоживание каолинита (основной минерал глины  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

2. При температуре 600 – 750 °С происходит выгорание органических примесей и создаются условия для образования  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  и  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

3. При температуре 900 °С начинается процесс образования минерала  $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ .

4. При температуре 1000 – 1100 °С (*зона кальцинирования*) происходит разложение  $\text{CaCO}_3$ , а выделяющаяся при этом свободная известь  $\text{CaO}$  начинает взаимодействовать с  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Весь глинозем входит в соединение  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ .

5. При температуре 1200 – 1300 °С образуются  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  и  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  и заканчивается образование  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

6. При температуре 1300 – 1450 °С (*зона спекания или экзотермии*) происходит насыщение известью  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

7. Далее осуществляется постепенное снижение температуры до 1000 °С. В этой зоне окончательно формируются сложные соединения – клинкерные минералы.

Клинкер выходит из печи в виде «горошин» серо-зеленого цвета и быстро охлаждается до температуры 100 °С в барабанных рекуператорах или холодильниках.

Быстрое охлаждение предотвращает образование крупных кристаллов с сохранением в клинкере некоторой доли стекловидной фазы.

После охлаждения клинкер выдерживается на складе 1 – 2 недели с целью гашения оставшейся свободной извести  $\text{CaO}$  в  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и ее карбонизацией при контакте с воздухом  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

Это необходимо для того, чтобы исключить неравномерность изменения объема цемента, появление трещин при твердении из-за гашения свободной извести в затвердевшем цементе.

### ***Помол клинкера***

Клинкер предварительно дробят, а затем измельчают в шаровых (трубных) мельницах, бронированных изнутри твердыми стальными плитами и разделенных дырчатými перегородками на несколько камер-отсеков.

Клинкер в камере измельчается стальными шарами (для грубого помола) и цилиндрами (для окончательного тонкого помола). Обычная тонкость помола  $2500 - 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ , на центробежном сепараторе – до  $4000 - 5000 \text{ см}^2/\text{г}$ .

В процессе помола в мельницу вводят необходимые добавки для регулирования свойств цемента, а для ускорения помола – различные ускорители (триэтаноламин, СДБ и др.).

Свойства цемента во многом зависят от тонкости помола. Наибольшее влияние на прочность оказывают фракции  $5 - 30 \text{ мкм}$ . В высокопрочных и быстротвердеющих цементах ее количество должно находиться в пределах  $45 - 70 \%$ .

Зерна цемента размером менее  $5 \text{ мкм}$  оказывают решающее влияние на его прочность в первые сутки твердения, фракция  $5 - 10 \text{ мкм}$  влияет на прочность в возрасте  $3 - 7$  суток, а фракция  $10 - 30 \text{ мкм}$  – в возрасте одного месяца и более. Зерна крупнее  $60 \text{ мкм}$  вообще не твердеют.

### ***Хранение и транспортирование цемента***

После помола цемент направляют в силосы на хранение.

**Силос** – это железобетонное сооружение диаметром  $8 - 15 \text{ м}$  и высотой  $25 - 30 \text{ м}$ , вмещающее  $4 - 10$  тыс. т цемента.

Цемент выдерживают до полного охлаждения (из мельницы он отгружается при температуре  $80 - 120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и гашения оставшейся извести.

Из силосов цемент выгружают в специальные крытые вагоны, цистерны или автоцементовозы. Часть упаковывается в многослойные мешки из крафт-бумаги массой по  $50 \text{ кг}$ .

## ***Лекция 20. ТВЕРДЕНИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА***

Для того чтобы эффективно влиять на процесс отвердевания и на формируемую структуру отвердевшего вяжущего, необходимо знать сущность взаимодействия вяжущего с водой или водным раствором некоторых солей.

Характер процессов отвердевания обычно усложнен полиминеральным составом вяжущего, изменением концентрации растворяющейся части вяжущего в жидкой среде, колебанием температуры вследствие протекания экзотермических реакций, специфическим влиянием внешней среды и т. п.

Разработан ряд теорий, в которых авторы объясняют сущность процесса твердения неорганических вяжущих веществ. Среди них теория Лешателье о кристаллизации из растворов, теория Михаэлиса о преимущественно коллоидальном состоянии твердеющих веществ, теория А. А. Байкова, обобщающая процессы образования коллоидов и кристаллизации.

При затворении цемента водой происходят сложные физико-химические процессы взаимодействия минералов цемента и воды с образованием новых соединений.

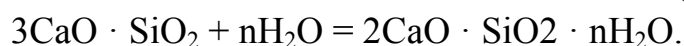
Цемент, смешанный с водой, сначала образует пластичную массу – цементное тесто, которое постепенно загустевает, в дальнейшем превращаясь в камень. Загустевание цементного теста и переход в твердое тело характеризуется соответственно началом и концом схватывания.

Клинкерные минералы при взаимодействии с водой могут присоединять воду *без разложения* (реакция гидратации) и *с разложением* (реакция гидролиза).

Согласно теории, разработанной академиком А. А. Байковым, установлено, что процесс твердения портландцемента подразделяется на три периода.

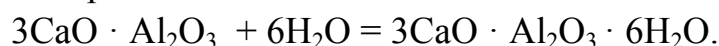
*Первый период* назван *подготовительным*, или *периодом растворения*. Минералы, находящиеся на поверхности зерен цемента, после затворения водой вступают с ней в химические реакции.

Не все минералы одинаково реагируют с водой. Скорость взаимодействия с водой различна. Однако реакции гидролиза и гидратации идут одновременно по следующей схеме:



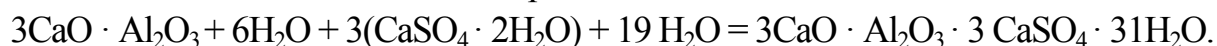
Таким образом, при взаимодействии с водой минералы силикатной группы образуют гидросиликаты кальция. Кроме того, трехкальциевый силикат (алит) при гидролизе выделяет гидрат окиси кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Гидратация трехкальциевого алюмината протекает с большой скоростью по следующей реакции:



Если в цемент не добавлять гипс, то он обладает короткими сроками схватывания. Это объясняется тем, что шестиводный гидроалюминат кальция ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) способствует образованию коагуляционных структур в цементном тесте (укрупнение частиц, находящихся в коллоидном состоянии), а следовательно, и быстрому его загустеванию.

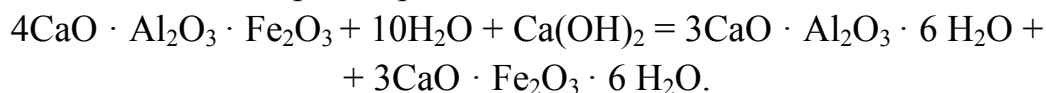
Гипс, введенный при помолке клинкера, реагирует с гидроалюминатом, при этом образуется трудно растворимая соль – гидросульфалюминат кальция в виде игольчатых кристаллов:



В этом случае коагуляция гидратных новообразований протекает медленнее, что удлиняет сроки схватывания цементного теста.

По мере растворения продуктов реакций обнажаются новые поверхности зерен цемента, и минералы, располагаемые в более глубоких слоях, начинают взаимодействовать с водой.

Четырехкальциевый алюмоферрит (целит) взаимодействует с водой в насыщенном известью растворе



Таким образом, в результате этой реакции химически связывается некоторое количество  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Гидратные соединения, обладая сравнительно плохой растворимостью, быстро насыщают раствор вокруг зерен цемента.

*Второй период* назван **периодом коллоидации** и характеризуется образованием коагуляционных структур. Дальнейшая гидратация вызывает насыщение раствора, из него начинает выпадать растворенное вещество в виде коллоидных частиц – гидратов клинкерных минералов. Коллоидные частицы обладают клеящейся способностью, которой характеризуется цементное тесто. Такое состояние теста обеспечивает его хорошее прилипание к каменным материалам и их склеивание.

Вследствие дальнейшего поглощения воды минералами ее содержание в свободном виде уменьшается, поэтому цементное тесто теряет пластичность, что соответствует началу схватывания.

*Третий период* назван **периодом кристаллизации**. Наименее устойчивые в коллоидном состоянии гидрат окиси кальция ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) и гидроалюминат кальция переходят в более устойчивое кристаллическое состояние. Одновременно происходит уплотнение гидросиликатов кальция, находящихся в студнеобразном состоянии.



Формирование прочности цементного камня вызывается кристаллизацией продуктов гидролиза и гидратации. Образующиеся кристаллы создают кристаллический сросток, который пронизывает цементный камень в различных направлениях, обеспечивая высокую прочность.

Скорость твердения цемента зависит от скорости взаимодействия клинкерных минералов с водой, т. е. от минералогического состава цемента, тонкости помола, условий твердения и других факторов.

Деление процесса твердения цемента на три последовательных периода весьма условно, так как они протекают одновременно. Цементный камень не является абсолютно плотным телом, в нем имеются поры различных размеров, заполненные воздухом или водой. Количество пор тем меньше, чем меньше было начальное водоцементное отношение и чем лучше условия прохождения процессов гидролиза и гидратации (т.е. температурно-влажностный режим) [1].

## *Лекция 21. КОРРОЗИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ*

Цементный камень в строительных конструкциях может разрушаться под действием агрессивных сред, создаваемых жидкостями или газами. Такое явление называется **коррозией цементного камня**.

Несмотря на многообразие проходящих в цементном камне физико-химических процессов коррозии, ее подразделяют на три вида.

**Коррозия I вида** возникает в цементном камне под действием на него пресных вод, вызывающим растворение гидрата окиси кальция, который затем вымывается водой. Такой вид коррозии называется **коррозией выщелачивания**. Это, в свою очередь, вызывает разложение других гидратов, нарушая связь между составляющими бетона.

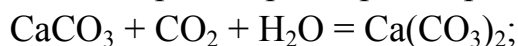
Выщелачивание СаО из раствора в количестве 15 – 30 % (от общего содержания цемента) приводит к уменьшению прочности более чем на 40 – 50 %.

Проявлением коррозии выщелачивания являются белые пятна, налеты, подтеки на поверхности бетонных конструкций и сооружений.

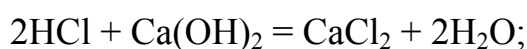
**Коррозия II вида** возникает в бетоне в результате обменных реакций между веществами, содержащимися в воде и продуктами гидролиза и гидратации минералов цемента.

При этом образуются новые химические соединения, не обладающие вяжущими свойствами, а также легко растворимые соединения, которые вымываются водой:

а) под действием *природных вод, содержащих углекислоту*. Агрессивная кислая среда, реагируя с карбонатом кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), переводит его в бикарбонат кальция, который хорошо растворяется в воде:

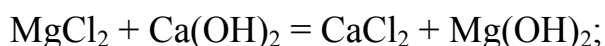


б) при наличии *соляной кислоты в сточных водах* промышленных предприятий. Кислота взаимодействует с известью, которая выделяется при твердении цемента, образует хлористый кальций, который легко вымывается водой:



в) под действием *солей магния ( $\text{MgCl}_2$ ) в грунтовой и морской водах*:

Наличие в воде катионов магния  $\text{Mg}^{+2}$  свыше 5000 мг/л делает воду агрессивной по отношению к бетону. Соли магния, проникая в поры бетона, вступают во взаимодействие с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и образуют легко растворимый хлористый кальций

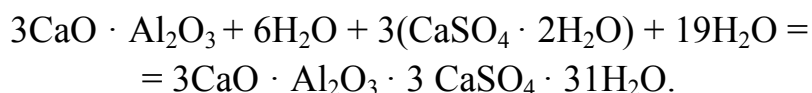


г) разрушающее влияние на бетон оказывают растворы щелочей высокой концентрации.

**Коррозия III вида** возникает в бетоне в результате воздействия на него водных растворов солей, способных образовывать с соединениями цементного камня новые малорастворимые соединения, кристаллизация которых и вызывает разрушение цементного камня.

1. К этому виду коррозии относятся разрушения, вызываемые действиями сульфатных вод, которые могут содержать растворенные соли сульфатов, например, при содержании в воде гипса он выделяется из раствора и накапливается в порах цементного камня. Гипс может образовываться, если в воде имеются другие соли сульфатов при их взаимодействии с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Накопление и кристаллизация гипса сопровождается увеличением в объеме, что вызывает значительные растягивающие усилия и образование трещин в бетонных конструкциях. Этот вид коррозии называется **гипсовой коррозией**.

2. Наиболее опасно взаимодействие сульфатов с трехкальциевым алюминатом ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) с образованием трудно растворимого соединения – гидросульфоалюмината кальция:



Образование этого соединения сопровождается увеличением объема в 2,5 раза. Этот вид разрушений называется **сульфатной коррозией**. Кристаллы гидросульфатоалюмината кальция имеют иглообразный вид и напоминают бациллы, поэтому другое название соединения – «цементная бацилла».

Под действием органических и неорганических кислот, вступающих в химическое взаимодействие с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , происходит разрушение бетонных конструкций.

Нефть, нефтепродукты, минеральные масла для цементного камня не опасны.

При взаимодействии щелочей, с реакционно-способным кремнеземом ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) в заполнителях бетона необходимо учитывать возможность возникновения **щелочной коррозии**.

**Мероприятия** по защите цементных систем от коррозии должны предусматривать:

- создание плотных (водонепроницаемых) бетонов;
- применение специальных цементов в зависимости от вида коррозии;
- устройство защитных гидроизоляционных пленок, окрасок, облицовок, экранов на поверхности бетона.

## *Лекция 22. СВОЙСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА*

В соответствии с требованиями стандарта цементная промышленность выпускает бездобавочный (чистоклинкерный) портландцемент и портландцемент с минеральными добавками. Если в качестве добавок используют гранулированные доменные или электротермофосфорные шлаки, их можно вводить в портландцемент в количестве не более 20 %. Если в качестве активных минеральных добавок используют осадочные горные породы (трепел, опока и др.), их допускается вводить в количестве не более 10 %.

В соответствии с требованиями ГОСТ 10178-85 нормируются следующие показатели качества портландцемента: тонкость помола, плот-

ность, сроки схватывания, равномерность изменения объема, прочность (марка).

**Истинная плотность** портландцемента в зависимости от химического состава и добавок колеблется от 3,0 до 3,2 г/см<sup>3</sup>, для расчетов обычно принимают плотность 3,1 г/см<sup>3</sup>.

**Объемная масса** в рыхлом состоянии равна 0,0 – 1,0 г/см<sup>3</sup>, а в уплотненном – 1,4 – 1,7 г/см<sup>3</sup>.

**Тонкость помола** цемента характеризуется остатками на ситах № 0200 и 0080, а также *удельной площадью поверхности* – суммарной площадью частиц цемента в единице массы, определяемой на специальных приборах (ПСХ-2). Обычные портландцементы характеризуются остатком на сите № 0080 – 4 – 8 % (по массе) и удельной площадью поверхности 2500 – 3000 см<sup>2</sup>/г, для быстротвердеющих – остатком 2 – 4 %, площадью 3500 – 5000 см<sup>2</sup>/г.

Для цемента, затворенного водой (цементного теста), важнейшими характеристиками являются водопотребность, нормальная густота и сроки схватывания.

**Водопотребность** – количество воды (процент от массы цемента), необходимое для получения теста нормальной густоты.

**Нормальная густота** – это условная характеристика консистенции цементного теста, определяемая на приборе Вика. Нормальной густотой цементного теста считают такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит 5 – 7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо.

Водопотребность портландцемента обычно составляет 24 – 28 %. Чем ниже водопотребность, тем выше качество цемента.

**Схватывание** портландцемента – это процесс постепенного загустевания цементного теста от момента затворения водой до приобретения начальной прочности.

**Сроки схватывания** характеризуются началом и концом схватывания цементного теста нормальной густоты и определяются на приборе Вика при температуре 20 °С. Вместо пестика используют иглу.

**Началом схватывания** цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения цемента водой до того момента, когда игла не доходит до дна кольца на 1 – 2 мм.

**Конец схватывания** – время от начала затворения до момента, когда игла погружается в тесто не более чем на 1 – 2 мм.

Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, конец – не позднее 10 ч от начала затворения. На практике 2 – 3 и 5 – 8 ч соответственно.

**Прочность** цемента определяется его химико-минералогическим составом, тонкостью помола, водоцементным отношением и зависит от продолжительности и условий твердения. Характеристикой прочности является его активность.

При твердении цемент подвержен **объемным деформациям**. В воде цементный камень набухает, линейное расширение его достигает 0,5 – 0,6 мм/м, на воздухе происходит его усадка, составляющая 3 – 5 мм/м, как следствие этого возникают внутренние напряжения, вызывающие появление трещин, деформаций и разрушений.

Стандартом предусмотрен ускоренный метод определения равномерности объема цемента. Изготавливают образцы – лепешки из цементного теста нормальной густоты и хранят при повышенной влажности в ванне с гидравлическим затвором в течение суток, затем подвергают кипячению в воде. После охлаждения лепешки не должны иметь искривлений, а также радиальных, доходящих до краев трещин или сетки трещин [5].

## Лекция 23. ДОБАВКИ В ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

### **Химические добавки для цемента**

В современной технологии цементных бетонов, укрепленных цементом грунтов и каменных материалов, собственно цементных вяжущих при их производстве широко применяются химические добавки и поверхностно-активные вещества (ПАВ). Их вводят для регулирования и улучшения технологических свойств бетонных смесей, технических свойств бетона и других цементных систем.

В строительстве автомобильных дорог и аэродромов находят применение следующие добавки: пластифицирующие, замедляющие схватывание, ускоряющие твердение, противоморозные, воздухововлекающие и газообразующие.

**Пластифицирующие добавки** улучшают удобоукладываемость смесей и позволяют уменьшить расход цемента.

В дорожном строительстве массовое применение нашли СДБ (сульфитно-дрожжевая бражка) в виде жидких КБЖ и твердых КБТ концентратов, с содержанием сухих веществ соответственно 60 и 70 %. Добавка СДБ –

полифункционального действия, кроме пластификации смеси (при сохранении удобоукладываемости, подвижности, жесткости) позволяет уменьшить ее водосодержание, а следовательно, расход цемента. СДБ является замедлителем схватывания цемента и соответственно твердения всех цементных систем в раннем возрасте.

Добавка СДБ вводится в бетонную смесь в количестве 0,1 – 0,3 % от массы цемента (в расчете на сухое вещество), обязательно в сочетании с воздухововлекающими или газообразующими добавками. При укреплении грунтов дозировка увеличивается до 1 %.

Из других пластифицирующих веществ следует назвать добавку **ПАЩ-1** (пластификатор адипиновый щелочной) – применяется при изготовлении сборных железобетонных плит – дорожных и аэродромных. Рекомендуется применять только вместе с воздухововлекающими и газообразующими добавками. Норма расхода 0,1 – 0,3 % массы цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона.

В качестве **добавок супер-пластификаторов**, которые предназначены для получения литых смесей для дорожных оснований и покрытий, а также высокопрочных бетонов для покрытий аэродромов и промышленных дорог, рекомендуются два продукта на нафталинформальдегидной основе:

**диспергатор НФ** – жидкое, пожаробезопасное вещество, биологически трудно разлагающееся, хорошо совмещается с СДБ и воздухововлекающими добавками;

**разжижитель С-3** – выпускается специально как добавка для бетона, является пожаробезопасным веществом и относится к третьему классу умеренно-опасных веществ.

**Воздухововлекающие добавки** – применяют при производстве дорожных бетонов с целью обеспечения их морозостойкости.

**СНВ** (смола нейтрализованная воздухововлекающая) должна соответствовать следующим требованиям:

- внешний вид – темный продукт темно-коричневого цвета;
- влажность – не более 15 %;
- растворимость в воде – менее 95 %;
- пенообразование – не менее 75 см<sup>3</sup>;
- избыточная щелочность – не более 0,5 мл 0,1 N раствора;
- нетоксична и непожароопасна.

Дозировка составляет 0,007 – 0,03 % от массы цемента, применяется совместно с пластифицирующими добавками.

**ППФ** (мыло сульфатное облагороженное):

- внешний вид – жидкий или мазеобразный продукт темно-коричневого цвета однородной консистенции;
- массовая доля воды – не более 70 %;
- массовая доля спирта – не более 4 %;
- массовая доля растворимых в воде веществ – не менее 90 %;
- массовая доля жирных, смоляных кислот, неомыленных веществ – не менее 80 % от массы абсолютно сухого вещества;
- объем пены – не менее 75 см<sup>3</sup>;
- избыточная щелочность – не более 0,5 мл 0,1 N раствора;
- нетоксична и непожароопасна.

**Противоморозные добавки** применяют при необходимости вести строительные работы при пониженных температурах (ниже 5 °С), они уменьшают температуру льдообразования и замерзания воды затворения.

Наиболее распространенная добавка – **хлористый натрий**, применяется в сочетании с ускорителем твердения – **хлористым кальцием**. Хлористый кальций поставляется в виде: обезвоженного CaCl<sub>2</sub>, плавленого CaCl<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O, чешуированного и жидкого продукта.

Противоморозные добавки могут добавляться в дорожные бетоны, в аэродромном строительстве не применяются, так как вызывают усиленную коррозию арматуры [2].

### **Активные минеральные добавки**

Это природные или искусственные материалы, обладающие гидравлическими свойствами.

При смешении с гидратной известью тонкомолотые активные минеральные добавки при затворении водой твердеют сначала на воздухе, а затем в воде.

Активной частью минеральных добавок являются аморфный кремнезем, алюмосиликаты, низкоосновные силикаты и алюминаты кальция.

Активные минеральные добавки подразделяют на природные и искусственные.

К **природным** относится ряд горных пород осадочного и вулканического происхождения. Добавки **осадочного** происхождения состоят из аморфного кремнезема (до 90 %) – диатомит, трепел, опока и др. Добавки **вулканического** происхождения состоят из кремнезема и глинозема (в сумме 90 %) – пеплы, туфы, пемзы и др.

К **искусственным** активным минеральным добавкам относятся шлаки (металлургические, доменные, мартеновские, топливные), золы ТЭЦ, кремнеземистые отходы производств серноокислого аммония и т. д.

Наиболее широко в цементной промышленности применяются доменные гранулированные шлаки, которые получают при выплавке чугуна и быстром охлаждении водой или паром.

Тонкомолотые доменные гранулированные шлаки, затворенные водой, проявляют свойства гидравлического вяжущего материала.

Вяжущие свойства доменных гранулированных шлаков значительно повышаются при смешении его с добавками – активаторами (известь, гипс).

Свойства доменных гранулированных шлаков как компонента шлакопортландцемента характеризуются коэффициентом качества.

$$K = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{MgO}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{TiO}_2} \quad \text{– при содержании MgO} < 10 \%$$

$$K = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + 10}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{TiO}_2 + \%(\text{MgO}-10)} \quad \text{– при содержании MgO} > 10 \%$$

В зависимости от коэффициента качества доменные гранулированные шлаки подразделяются на три сорта.

Кроме того, для производства шлакопортландцемента могут применяться электротермофосфорные шлаки [2].

## **ТЕМА. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ**

Большое разнообразие возводимых сооружений из бетона, особенности их эксплуатации в различных климатических условиях, в том числе при воздействии агрессивных сред, вызвали необходимость создания цементов со специальными свойствами. Специальные виды цементов в соответствии с особенностями их применения классифицируются по ГОСТ 23464 – 79 [3].

### **Лекция 24. БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ**

Отличаются от обычного портландцемента более интенсивным нарастанием прочности в начальный период твердения.



К быстротвердеющим портландцементом предъявляются следующие требования:

- по составу клинкера должно содержаться:  $C_3S$  – 50 – 55 %;
- $C_2A$  – 8 – 10 %;
- тонкость помола должна быть не менее 4000 – 4500  $см^2/г$ ;
- содержание активных минеральных добавок не более 10 – 15 %.

Большое значение для получения быстротвердеющих портландцементов имеет гранулометрический состав цементного порошка. Повышенное содержание зерен мелких фракций ускоряет процесс нарастания прочности в начальные сроки.

Недостатком этого вида цемента является то, что вследствие тонкого помола он быстро теряет активность при дальних перевозках и длительном хранении.

Быстротвердеющий портландцемент выпускают марок 400 и 500.

### ***Область применения***

Быстротвердеющий портландцемент целесообразно применять при изготовлении сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

Эффективно применение при пониженных температурах воздуха, в том числе при зимнем бетонировании, так как при твердении выделяется повышенное количество тепла.

Получен также так называемый *особо быстротвердеющий портландцемент*, применение которого в бетонах позволяет либо полностью отказаться от пропаривания железобетонных изделий, либо свести его к незначительным срокам, а также сократить расход цемента.

Особо быстротвердеющий портландцемент обладает не только быстрым нарастанием прочности в начальные сроки твердения, но и высокой марочной прочностью.

В настоящее время в небольшом объеме изготавливают *сверхбыстротвердеющие цементы*, некоторые виды которых уже через два часа твердения имеют предел прочности при сжатии 15 – 25 МПа по стандартной методике испытаний.

## **Лекция 25. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ С ПАВ**

К группе портландцементов с поверхностно-активными добавками (ПАВ) относятся пластифицированный и гидрофобный портландцементы.

### ***Пластифицированный портландцемент***

Продукт тонкого измельчения портландцементного клинкера с двухводным гипсом ( $\text{CaSO}_4$ ) в количестве 3 – 5 % и добавлением при помоле 0,15 – 0,30 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество технических лигносульфатов, которые служат пластифицирующей добавкой (ССБ). Эти добавки, адсорбируясь на поверхности частиц цемента, повышают смачиваемость цемента водой при затворении, не препятствуя их взаимодействию. Добавки уменьшают трение между зернами цемента, а в бетонных смесях и между зернами заполнителя, вследствие чего увеличивается текучесть и пластичность цементного теста (растворных и бетонных смесей).

В соответствии с требованиями ГОСТ 10178-85 подвижность цементного раствора состава 1 : 3 с пластифицирующей добавкой должна быть такой, чтобы при водоцементном отношении (В/Ц), равном 0,4, расплыв стандартного конуса был не менее 125 мм.

Увеличение пластичности смесей позволяет уменьшить В/Ц отношение, следовательно, повысить прочность и плотность растворов и бетонов, улучшить морозостойкость и водонепроницаемость, снизить расход цемента на 8 – 10 %.

### ***Гидрофобный портландцемент***

Получают совместным помолом портландцементного клинкера с двухводным гипсом ( $\text{CaSO}_4$ ) в количестве 3 – 5 % и добавлением при помоле гидрофобизирующих добавок в количестве 0,1 – 0,2 % – мылонафта, синтетических жирных кислот, асидола и др. Эти частицы, адсорбируясь на поверхности зерен цемента, образуют тончайшие водоотталкивающие пленки, которые уменьшают смачивание цемента водой. В результате гидрофобный цемент длительное время может пребывать на воздухе с повышенной влажностью без потери своей активности.

При перемешивании бетонной смеси целостность пленки нарушается, после чего цемент беспрепятственно взаимодействует с водой.

Преимуществами данного вида цемента являются:

- остающиеся в смеси добавки улучшают некоторые свойства смеси – повышают морозостойкость, сопротивляемость агрессивной среде;
- этот цемент характеризуется меньшей гигроскопичностью, следовательно может транспортироваться на значительные расстояния, длительное время храниться на складе.

### ***Область применения***

Наиболее целесообразно применять для строительства дорожных покрытий, гидротехнических и других сооружений, шахтного строительства.

*Примечание:* пластифицированный и гидрофобный портландцемент применяют наравне с обычным для бетонных и железобетонных наземных, подземных и подводных конструкций, в том числе работающих в условиях циклического замораживания и увлажнения.

## ***Лекция 26. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ***

### ***Сульфатостойкий портландцемент***

Сульфатостойкий портландцемент и его разновидности имеют строго установленный химический состав:  $C_3S$  – не более 50 %;  $C_3A$  – не более 5 %, сумма  $C_3A$  и  $C_4AF$  – более 22 %; не должен содержать минеральных добавок, снижающих морозостойкость.

Они обладают повышенной стойкостью против сульфатной агрессии, пониженным тепловыделением, а также высокой водо-, морозо- и воздухо-стойкостью.

Цементная промышленность выпускает сульфатостойкий портландцемент, сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками, сульфатостойкий шлакопортландцемент и пуццолановый портландцемент марок 300, 400 и 500.

При сульфатной агрессии низкое содержание  $C_3A$  в цементе ограничивает образование гидросульфоалюмината, который размещается в порах бетона, не вызывая в нем внутренних напряжений.

Ограничение содержания  $C_3S$  снижает возможность образования гидроксида кальция  $Ca(OH)_2$ , следовательно уменьшает возможность образования двуводного сульфата кальция при сульфатной агрессии, что препятствует развитию гипсовой коррозии цементного камня.

### ***Область применения***

Сульфатостойкий портландцемент следует применять для изготовления бетонных и железобетонных конструкций наружных зон гидротехнических и других сооружений, работающих в условиях сульфатной агрессии, при систематическом и многократном замораживании – оттаивании или увлажнении – высыхании.

### ***Пуццолановый портландцемент***

Это гидравлическое вяжущее, получаемое путем совместного тонкого измельчения клинкера, необходимого количества гипса и активных минеральных добавок либо тщательным смешиванием тех же материалов, измельченных отдельно. Содержание активных минеральных добавок в цементе должно составлять:

- осадочного происхождения (кроме глиежа) не менее 20 % и не более 30 % от массы цемента;
- вулканического происхождения, глиежа, топливной золы не менее 25 %, но не более 40 % от массы цемента.

Отличаются повышенной сульфатостойкостью и выпускаются марок 300 и 400.

Свойства пуццоланового портландцемента несколько отличаются от свойств обычного портландцемента:

- твердеет медленнее;
- сроки схватывания такие же;
- наличие активных минеральных добавок увеличивает нормальную плотность цементного теста (до 35 %);
- водопотребность смеси выше.

К недостаткам можно отнести:

- повышенную усадку;
- пониженную воздухоустойчивость;
- бетоны и растворы на пуццолановом портландцементе не морозостойки.

### ***Область применения***

В подводных и подземных бетонных сооружениях гидротехнического и шахтного строительства.

### ***Декоративные портландцементы***

Могут быть белыми и цветными.

#### ***Белый портландцемент***

Сырьем для заводского производства белых портландцементов служат чистые известняки и белые глины. Сырьевую смесь обжигают на газовом топливе. Для повышения белизны клинкера обжигают в восстановительной среде и отбеливают путем быстрого охлаждения водой. Для обес-

печения цвета белый портландцемент не должен содержать более 0,35 – 0,5 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

По степени белизны белый портландцемент делят на три сорта:

*1-й сорт* имеет коэффициент отражения не ниже 80 %;

*2-й сорт* – коэффициент отражения не ниже 75 %;

*3-й сорт* – коэффициент отражения не ниже 68 %.

Степень белизны определяют с помощью фотометра ФМ-58. Выпускают белые цементы марок 400 и 500.

### ***Цветные портландцементы***

Изготавливают путем совместного тонкого помола белого и цветного клинкера, минеральных и органических красителей, гипса и активных минеральных добавок. Пигментов (красителей) добавляется не более 15 % минеральных и не более 0,3 % органических. Цветные цементы получают желтого, розового, красного, коричневого, зеленого, голубого и черного цветов.

### ***Область применения***

Белые и цветные портландцементы используют для архитектурно-отделочных работ, изготовления скульптур, дорожных знаков, устройства разделительных полос.

Кроме вышеперечисленных, отечественная промышленность выпускает еще целый ряд цементов специально назначения. К ним можно отнести:

- тампонажные, которые используют для изоляции пластов в нефтяных и газовых скважинах, при строительстве на карстовых основаниях;
- портландцементы для изготовления асбестоцементных изделий;
- цементы для строительных растворов – кладочные цементы;
- радиационнозащитные цементы – для защиты от радиационных излучений;
- цементы для жаростойких бетонов;
- цементы с пониженной экзотермией и др.

## ***Лекция 27. ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТ***

Гидравлическое вяжущее, получаемое путем совместного тонкого измельчения клинкера, гипса, доменного гранулированного шлака или

тщательного смешения тех же материалов, измельченных отдельно. Содержание шлака должно составлять не менее 20 и не более 80 % от массы цемента. Допускается замена шлака другими активными минеральными добавками в количестве не более 10 %.

Разновидностями шлакопортландцемента являются быстро твердеющий и сульфатостойкий шлакопортландцемент.

Сравнивая свойства шлакопортландцемента с другими цементами, следует отметить, что он:

- характеризуется замедленным ростом прочности в начальный период твердения;
- усадка его в 1,5 – 2 раза меньше, воздухоустойчивость больше, чем у пуццолановых портландцементов;
- стойкий к воздействию проточной пресной воды (коррозии выщелачивания);
- обладает повышенной стойкостью к действию минерализованной воды;
- не оказывает коррозирующего действия на арматуру в железобетоне;
- характеризуется высокой сопротивляемостью действию высоких температур.

К недостаткам можно отнести невысокую морозостойкость.

Шлакопортландцемент выпускают марок 300, 400 и 500.

### ***Область применения***

Шлакопортландцемент применяют для бетонных и железобетонных конструкций наземных, подземных и подводных сооружений, шахтного строительства.

## **Лекция 28. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ ДЛЯ ДОРОЖНЫХ И АЭРОДРОМНЫХ ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ**

Для дорожных оснований, укрепления каменных материалов, устройства слоев из укрепленных грунтов применяют портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент марки не ниже 300.

Для дорожных и аэродромных покрытий применяют специальные цементы марок 400 и 500, соответствующие требованиям ТУ 21-20 -51 – 83.

К цементам этого вида предъявляются следующие требования:

- они не должны содержать минеральных добавок; исключение составляет доменный гранулированный шлак в количестве не более 15 %;
- тонкость помола дорожного шлакопортландцемента должна быть не менее 2800 см<sup>2</sup>/г;
- при просеивании цемента через сито № 008 должно проходить не менее 85 % от массы пробы;
- содержание трехкальцевого алюмината Са<sub>3</sub>А не должно превышать 8 %;
- для всех видов цементов для дорожного строительства начало схватывания должно наступать не ранее двух часов после затворения;
- количество сернистых соединений в пересчете на SO<sub>3</sub> не допускается свыше 3,5 %;
- в составе портландцементного клинкера содержание MgO не должно быть более 5 %;
- при испытаниях кипячением в воде цементный камень должен показывать равномерное изменение объема;
- предел прочности стандартных образцов при испытаниях на изгиб и сжатие должен быть не менее величин, указанных в табл. 11 [6].

*Таблица 11*

**Прочность цементов различных марок  
для дорожного и аэродромного строительства**

Разновидность цемента	Марка цемента	Предел прочности в возрасте 28 суток, МПа	
		При изгибе	При сжатии
Портландцемент и портландцемент с минеральными добавками	400	5,5	40
	500	6,0	50
	550	6,2	55
	600	6,5	60
Шлакопортландцемент	300	4,5	30
	400	5,5	40
	500	6,0	50

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Воздушная строительная известь. Определение, классификация, состав и обжиг сырья.
2. Воздушная строительная известь. Помол, гашение, твердение.
3. Растворимое жидкое стекло.
4. Гипсовые вяжущие материалы. Общие сведения, разновидности, технология получения гипса.
5. Магнезиальные вяжущие материалы.
6. Твердение гипсовых вяжущих материалов.
7. Химический и минералогический составы портландцементного клинкера.
8. Активность и марка портландцемента. Модули портландцементного клинкера.
9. Влияние составляющих портландцементного клинкера на свойства полученных материалов.
10. Технология производства портландцемента.
11. Твердение портландцемента.
12. Коррозия цементного камня 1-го вида.
13. Коррозия цементного камня 2-го вида; защитные мероприятия.
14. Обжиг, помол, транспортирование и хранение портландцемента.
15. Твердение портландцемента.
16. Свойства портландцемента.
17. Добавки в портландцемент.
18. Специальные виды портландцемента: быстротвердеющий и гидрофобный.
19. Специальные виды портландцемента: гидрофобный и сульфатостойкий.
20. Специальные виды портландцемента: декоративные и специального назначения.
21. Пуццолановый и шлакопортландцемент.



## РАЗДЕЛ 4. ЦЕМЕНТОБЕТОН И ЕГО РАЗНОВИДНОСТИ

### ТЕМА. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

#### Лекция 29. КЛАССИФИКАЦИЯ БЕТОНОВ

**Бетоном** называется искусственный камневидный строительный материал, представляющий собой затвердевшую смесь вяжущего, заполнителей, воды и необходимых добавок. До затвердения данная масса называется бетонной смесью.

Строительный материал, в котором бетон и стальная арматура, соединенные взаимным сцеплением и работающие под нагрузкой как единое монолитное тело, называется **железобетоном**.

Бетон и железобетон – основные материалы для строительства промышленных, гражданских, гидротехнических и других сооружений, в последнее время они получают широкое распространение для строительства дорожных и аэродромных покрытий, искусственных сооружений. Из этих материалов изготавливают монолитные конструкции, возводимые на месте строительства сооружений, и сборные, изготавливаемые на заводах и полигонах сборного бетона и железобетона.

#### **Классификация бетона**

Согласно ГОСТ 25192-82 «Классификация бетона и общие технические требования» бетоны можно классифицировать по следующим признакам:

I. По месту изготовления:

- а) монолитный;
- б) сборный.

II. По средней плотности:

- а) особо тяжелые – с плотностью более  $2,5 \text{ г/см}^3$ ;
- б) тяжелые – с плотностью свыше  $1,8$  до  $2,5 \text{ г/см}^3$ ;
- в) легкие – с плотностью свыше  $0,5$  до  $1,8 \text{ г/см}^3$ ;
- г) особо легкие – с плотностью менее  $0,5 \text{ г/см}^3$ .

Наиболее широкое распространение получили *тяжелые бетоны* со средней плотностью  $2,1 - 2,5 \text{ г/см}^3$  на плотных заполнителях из горных пород или металлургических шлаков.

*Легкие* цементобетоны получают с использованием природных или искусственных пористых заполнителей.

*Особо легкие* бетоны – это ячеистые бетоны, полученные путем вспучивания смеси вяжущего, тонкомолотых добавок и воды с помощью газо- или пенообразователей, их изготавливают без крупного заполнителя.

III. По виду заполнителей:

- а) плотные;
- б) пористые.

IV. По крупности заполнителей:

- а) мелкозернистые – с крупностью зерен до 10 мм;
- б) крупнозернистые – с крупностью зерен более 10 мм.

V. По виду вяжущего:

- а) изготавливаемого на портландцементе и его разновидностях;
- б) бетоны на шлакопортландцементе и пуццолановом цементе.

VI. По основному (производственному) признаку:

- а) конструкционные, предназначенные для изготовления бетонных и железобетонных конструкций и сооружений в промышленном, гражданском, сельскохозяйственном, гидротехническом, транспортном и других видах строительства;
- б) специальные – теплоизоляционные, жаростойкие, химически стойкие, декоративные и др.

Каждой разновидности бетона присущи свои особенности: гидротехнические должны быть предельно плотными, водонепроницаемыми, морозостойкими, стойкими к коррозии; бетоны для жилищного строительства - малотеплопроводными, звукоизоляционными и т. д.

Бетоны для дорожного строительства должны быть не только морозостойкими, но и устойчивыми к динамическим воздействиям транспортных нагрузок, истираемости и износу под колесами транспортных средств в сложных условиях [1].

### ***Преимущества и недостатки бетона***

#### ***Преимущества***

- высокая прочность, длительный срок службы;

- легкая формуемость бетонных смесей с получением практически любых заданных форм;
- доступность высокой механизации технологических процессов;
- высокая экономичность изделий из бетона (так как для производства сырья можно применять свыше 80 % объема местного сырья).

#### *Недостатки*

- высокая стоимость покрытий;
- шумность бетонных покрытий;
- сложное технологическое оборудование;
- ограничения, связанные с дальностью перевозки.

### **Лекция 30. НАЗНАЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ БЕТОНА**

Как видно из данного выше определения бетона, основными компонентами его являются вяжущее, наполнители, т. е. щебень и песок, вода, добавки. Каким же образом производят назначения компонентов смеси.

#### *Цемент*

При выборе разновидности цемента учитывают характер конструкции и рекомендации нормативных документов. Так, например, если конструкция работает в условиях морской или минерализованной воды, тогда выбирают малоалюминатные сульфатостойкие портландцементы и шлакопортландцементы. Для дорожного строительства применяют специальные дорожные портландцементы, отвечающие требованиям ГОСТ 10178-85, который предписывает содержание трехкальциевого алюмината  $C_3A$  не более 8 %, так как повышение содержания этого минерала снижает морозостойкость бетона.

Аналогичным способом учитываются условия при выборе цемента для других видов бетона.

Таким образом, при выборе разновидности цемента учитывают:

- 1) характер конструкции;
- 2) рекомендации нормативов;
- 3) обосновывают марку цемента.

Обоснование марки цемента производят исходя из требуемой прочности бетона в конструкциях и минимального расхода цемента как наиболее дорогостоящего компонента бетона, избыток которого увеличивает величину усадочных деформаций, а следовательно, снижает трещиностой-

кость бетона. Обычно исходят из соотношения, чтобы марка по прочности цемента превышала на 10 – 40 % марку бетона, а при низких марках бетона превышение марки цемента составляет 100 – 200 %. Но такие соотношения являются приблизительными, так как определение марок цемента и бетона по стандартам проводится при различных условиях подготовки соответствующих смесей и при несходных структурах испытываемых материалов.

Чтобы избежать случайностей, следует при выборе цемента и расчетах исходить не из марки цемента, а из реальной активности цемента ( $R^*$ ) при оптимальной структуре, т.е. из прочности цементного камня оптимальной структуры, полученной при испытании образцов, изготовленных при технологических параметрах и режимах, характерных для принятого производства бетона.

#### *Вода*

К качеству воды, используемой для приготовления смесей и промывки заполнителей, а также для увлажнения при твердении его в сухих условиях, рекомендуется:

1. Применять питьевую воду, не допускаются к использованию болотные и сточные воды.
2. Ограничивать содержание растворенных в воде солей, органических веществ.
3. Не допускать примеси нефтепродуктов.
4. Проверять водородный показатель pH ( $4 < \text{pH} < 12,5$ ).

#### *Мелкий заполнитель (песок)*

Используют пески природные или получаемые дроблением плотных морозостойких пород с размером зерен не крупнее 5 мм. Важно обеспечить повышенную плотность зернового состава (по кривым плотных смесей) при модуле крупности  $M_k$  не ниже 2,0.

#### *Крупный заполнитель (щебень)*

Устанавливают целесообразный зерновой состав крупного заполнителя с наименьшим объемом пустот и наибольшей крупностью зерен при общих требованиях, указанных в ГОСТе.

### ***Основные свойства бетонных смесей и требования к ним***

Бетонная смесь должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- сохранять однородность и связность на всех технологических этапах (перемешивание, транспортирование, перегрузка и другие воздействия), не расслаиваясь;

- не отделять воду, т. е. удерживать ее без отделения на поверхности конструкций, сооружений и в их внутренних зонах;

- обладать хорошей удобоукладываемостью – способностью заполнять форму или опалубку при данных способах формования и образовывать после уплотнения бетон максимальной плотности и однородности.

Удобоукладываемость оценивают показателем подвижности и жесткости смеси.

**Подвижность** устанавливается по величине осадки конуса (ОК) и выражается в сантиметрах.

**Жесткость** характеризуется временем вибрации в секундах, необходимым для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса в приборе для определения жесткости (Ж) или упрощенным способом.

**Подвижная смесь** – пластичная масса, в которой зерна заполнителя находятся во взвешенном состоянии в цементном тесте определенной консистенции. Подвижные смеси могут легко распределяться под действием собственной массы или под действием приложенной небольшой механической нагрузки (давление, вибрация).

**Жесткая бетонная смесь** – рыхлая или сыпучая масса, в которой зерна заполнителя склеены цементным тестом достаточно вязкой консистенции. Такая смесь вследствие небольшого количества воды становится удобоукладываемой только при длительном и интенсивном уплотнении.

По удобоукладываемости бетонные смеси условно подразделяются на восемь групп:

1. Особо жесткие –  $Ж > 200$  с;
2. Повышенно жесткие –  $Ж = 150 - 200$  с;
3. Жесткие –  $Ж = 75 - 120$  с;
4. Умеренно жесткие –  $Ж = 30 - 60$  с;
5. Малоподвижные –  $Ж = 15 - 25$  с; ОК = 1 – 5 см;
6. Умеренно подвижные – ОК = 6 – 9 см;
7. Подвижные ОК = 10 – 16 см;
8. Литые – ОК > 17 см.

Показатель подвижности определяется с помощью стандартного конуса. Жесткость смеси определяют с помощью конуса, установленного на виброплощадку, время фиксируется по секундомеру. Жесткость также может быть определена с помощью технического вискозиметра.

На подвижность и жесткость смесей влияют вид цемента, содержание воды, В/Ц отношение, содержание цементного теста, крупность заполнителя и форма его зерен, содержание песка [2, 6].

### *Лекция 31. СТРУКТУРА БЕТОНА*

Цементный бетон представляет собой искусственный камневидный материал с конгломератным характером строения, обусловленным составом бетона, включающим цементный камень, заполнитель с различным зерновым составом и поверхность раздела (контакта) между цементным камнем и заполнителем.

Одной из важнейших особенностей строения бетона является его неоднородность, определяемая относительным содержанием структурных компонентов, присущей им внутренней структурной неоднородностью, а также наличием полидисперсных пор и капилляров и, кроме того, наличием других дефектов, возникающих в процессе структурообразования.

С точки зрения размера неоднородностей выделено три типа структуры: микроструктура, мезоструктура и макроструктура. Каждая из выделенных структур характеризуется специфическими условиями их формирования, строительными свойствами, методами исследования.

Под **микроструктурой** понимается структура цементного камня, которая представлена кристаллическим каркасом (сростком), гелевидной составляющей, не полностью гидратированными зернами клинкера, поровым пространством. Характер и свойства микроструктуры определяются химико-минералогическим составом клинкера, тонкостью помола цемента, наличием химических и минералогических добавок, В/Ц отношением, условиями изготовления, формования и твердения.

Под **мезоструктурой** понимается двухкомпонентная (цементный камень – песок) структура цементно-песчаного раствора в бетоне. Мезоструктуру определяют микроструктура цементного камня, зерновой и химический состав песка и другие его свойства. Особенность – наличие поверхности взаимодействия (контакта) между цементным камнем и песком и возможность образования дополнительного порового пространства в зоне контакта.

Под **макроструктурой** понимается двухкомпонентная (цементно-песчаный раствор – крупный заполнитель) структура бетона. Свойства макроструктуры определяются свойствами микро- и мезоструктуры и

крупного заполнителя и их количественным соотношением. Существенное значение имеет характер распределения зерен заполнителя по размерам и в объеме бетона.

## **ТЕМА. ТЯЖЕЛЫЙ (ОБЫЧНЫЙ) БЕТОН**

### **Лекция 32. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА БЕТОНА**

Тяжелый бетон – типичный представитель искусственных строительных конгломератов. В нем отвердевшее цементное тесто или цементный камень полностью окружает каждую частицу мелкого и крупного заполнителя и, кроме того, заполняет пространство между этими частицами, составляя непрерывную пространственную сетку (матрицу). В процессе отвердевания теста частицы заполнителя оказываются сцементированными в единый монолит. В монолите 20 – 30 % от его объема занимает цементный камень, а на долю заполнителя приходится 70 – 80 % объема. В пределах объема тяжелого бетона имеется также капиллярно-поровая часть, которая образуется в результате испарения свободной воды, недоуплотнения смеси и усадочных явлений. Поры присутствуют также в частицах заполнителя, а микропоры характерны для цементного камня. Нередко воздушные поры (1 – 2 %) равномерно распределены в объеме бетона, возникая в процессе перемешивания бетонной смеси со специальными воздухововлекающими добавками, что повышает морозостойкость бетона.

#### ***Классы и марки бетона***

В соответствии с требованиями ГОСТ 16633-85 по прочности образцов-кубов на сжатие тяжелые бетоны подразделяют на классы: В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60.

Класс бетона устанавливает гарантированное значение показателя его прочности

$$B = R (1 - tv),$$

где  $B$  – класс бетона по прочности, МПа;  $R$  – средняя прочность бетона, МПа, которая должна быть при производстве обеспечена коэффициентом  $t$  (1, 64), характеризующим принятую при проектировании обеспеченность класса бетона;  $v$  – коэффициент вариации прочности бетона (13,5%).

Марка бетона нормируется по среднему показателю прочности на сжатие, тогда как класс бетона нормируется гарантированной обеспеченностью прочности. Установлены следующие проектные марки по прочности при сжатии для конструкций из тяжелого бетона: 50; 75; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 450; 500; 600; 700; 800 (кгс/см<sup>2</sup>).

### ***Основные показатели качества***

Основными свойствами бетона являются прочность по видам нагрузок, ее изменение во времени, плотность и пористость, водонепроницаемость, морозостойкость, упруго-пластические свойства (усадка, ползучесть, кратковременные деформации) и ряд других специальных свойств (износостойкость и т. п.).

Важнейшей характеристикой качества бетона как несущего материала является ***прочность при сжатии***, которая оценивается кубиковой прочностью и устанавливается испытаниями на сжатие образцов-кубов размерами 15×15×15 см, изготовленных и испытанных после твердения в возрасте 28 суток в соответствии с ГОСТ 10180-79.

При крупности заполнителя 20 мм допускается применять кубы с ребром 10 см, 40 мм – 15 см, 60 мм – 20 см, а при крупности 100 мм – с ребром 30 см.

При постоянном качестве заполнителей, способе уплотнения и условиях твердения прочность бетона зависит от марки (активности) цемента и В/Ц отношения:

$$R_{\sigma} = f(R_{\text{ц}}; \text{В/Ц}).$$

Закон водоцементного отношения справедлив для бетонов одного возраста, твердевших в одинаковых температурно-влажностных условиях, при одинаковой степени уплотнения. С увеличением В/Ц отношения при одной марке цемента прочность бетона уменьшается. Однако увеличение прочности бетона с уменьшением В/Ц отношения происходит до определенного предела, а затем она снижается. Это объясняется тем, что при малых количествах воды (менее 130 л/м<sup>3</sup>) бетонная смесь не удобоукладываемая и ее не удастся уплотнить существующими средствами механизации. Оптимальное значение В/Ц отношения, при котором можно достичь максимальной прочности бетона, зависит от эффективности уплотняющих механизмов. Чем она выше, тем меньше может быть В/Ц отношение. Практически не более 17 – 20 % воды затворения от массы цемента расходуется на гидратацию, т.е. связывается химически, тогда как В/Ц отноше-



ние для получения удобоукладываемых смесей принимается равным 0,35 – 0,80. Таким образом, избыточная влага, испаряясь, создает поры в цементном камне бетона, что приводит к снижению прочности бетонов при увеличении В/Ц отношения.

Профессор Н. М. Беляев предложил следующее выражение зависимости прочности бетона  $R_{\sigma}$  от активности цемента  $R_{ц}$  и В/Ц отношения:

$$R_{\sigma} = \frac{R_{ц}}{A(V/C)^{1,5}},$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий вид крупного заполнителя (для щебня – 3,5; для гравия – 4).

При расчете состава бетона пользуются формулой Болоемя:

$$R_{\sigma} = A R_{ц} (C/V - C),$$

где  $A$  и  $C$  – эмпирические коэффициенты:  $A = 0,60$ ;  $C = 0,50$ .

При расчете по прочности на изгиб  $R_{ци}$ :  $A = 0,36$ ;  $C = 0,20$ .

По приведенным формулам можно лишь ориентировочно установить прочность бетона, так как на нее, кроме активности цемента, оказывают влияние вид и качество заполнителей, степень уплотнения бетонной смеси, продолжительность и условия твердения бетона [2].

### ***Факторы, влияющие на прочность бетона***

1. Активность (марка) цемента.
2. Вид и качество заполнителя.
3. Степень уплотнения бетонной смеси.
4. Продолжительность и условия твердения бетона.

При слабом заполнителе, имеющем прочность ниже прочности цементного камня, разрушение может произойти по заполнителю. Прочное сцепление между зернами заполнителей и цементным камнем (которая обеспечивается степенью уплотнения бетонной смеси) имеет особое значение для повышения прочности бетона при растяжении. При плохом сцеплении произойдет разрушение по поверхности раздела зерен заполнителя и цементного камня. По этой причине в дорожных бетонах не рекомендуется применять гравий в качестве крупного заполнителя.

На ***прочность бетона при растяжении*** оказывают влияние те же факторы, что и на прочность при сжатии. Разрушение бетона при растяжении происходит в результате его разрыва в растянутой зоне при испытании образца-балки 15×15×60 см. Прочность бетона при растяжении в 8 – 12 раз меньше прочности при сжатии.

Прочность при растяжении при изгибе определяется по ГОСТ 10180-78 (см. рис. 3, а):

$$R_{\text{раст}} = \frac{Pl}{bh^2},$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;  $l$  – расстояние между опорами, м;  $b$  и  $h$  – соответственно ширина и высота балки.

Если твердение бетона происходит в благоприятных условиях, то его прочность непрерывно увеличивается и в возрасте трех лет может удваиваться по сравнению с марочной (в возрасте 28 суток) прочностью, что позволяет экономить цемент.

Прочность бетона со временем изменяется примерно по логарифмическому закону. Исходя из этого при расчетах прочности бетона для разных сроков можно пользоваться приближенной эмпирической формулой

$$R_n = R_{28} \frac{\lg n}{\lg 28},$$

где  $R_n$  – предел прочности бетона при сжатии на  $n$ -е сутки твердения, МПа;  $R_{28}$  – предел прочности при сжатии на 28 суток твердения, МПа;  $\lg n$  и  $\lg 28$  – десятичные логарифмы возраста бетона, выраженного в сутках.

Эта формула применима только для бетонов на обычном портландцементе средних марок и обеспечивает удовлетворительную прочность бетона в возрасте трех и более суток. При нормальных условиях твердения бетонных образцов их средняя прочность в возрасте семи суток составляет 0,6 – 0,7 марочной прочности. В возрасте трех месяцев прочность образцов выше марочной на 10 – 15 %, а в возрасте 1 год – на 30 – 40 %.

На скорость роста прочности бетона влияет минералогический состав цемента и начальное содержание воды в бетонной смеси.

**Плотность** бетона зависит от пористости цементного камня, заполнителей и степени уплотнения бетонной смеси. Высокая плотность бетонов достигается тщательно подобранным зерновым составом заполнителей, оптимальным количеством цементного теста, снижением В/Ц отношения, тщательным уплотнением, пониженным количеством воды затворения, оптимальными условиями твердения бетонов в зависимости от вида применяемого цемента, а также при введении в бетонную смесь пластифицирующих добавок.

**Пористость** цементного камня зависит от количества химически связанной воды, ухода за бетоном, т. е. количества испарившейся воды, вида цемента, В/Ц отношения, объема вовлеченного воздуха. Крупные

пустоты – *каверны* могут образовываться из-за плохого уплотнения, недостатка цемента и недостаточного перемешивания. Пористость бетона колеблется в пределах 5 – 15 %.

Кроме статической прочности иногда проверяют величину *динамической прочности или ударной вязкости*. При вибрационной нагрузке на конструкцию важно определять *усталостную прочность* бетона, характеризуемую количеством циклов вибрационного воздействия до признаков разрушения структуры.

*Долговечность* бетонных конструкций в большой мере обуславливают *деформативные свойства* бетона. Особенно следует отметить ползучесть, которая проявляется при сжимающих, растягивающих и других возникающих усилиях, действующих длительное время.

Итак, *ползучесть* – это свойство необратимо деформироваться под влиянием длительно действующих нагрузок, а также усадки и других факторов. Ползучесть носит линейный характер без каких-либо существенных разрушений бетона при напряжениях в нем до 60 % от предела прочности при сжатии  $R_{сж}$ . При увеличении нагрузок до 90 %  $R_{сж}$  бетон разрушается.

*Усадка* – уменьшение объема бетона вследствие испарения воды. Усадка происходит наиболее интенсивно в первые 3 – 4 месяца твердения с образованием трещин в цементном камне. Деформации усадки цементного камня достигают 2 – 4 мм/м и зависят от состава бетона, сроков и качества ухода за ним, вида цемента.

*Трещинообразование* в бетоне является результатом напряжений и деформаций, возникающих при действии на конструкцию механических нагрузок, при значительных температурных и влажностных перепадах в теле бетона. Зависят от прочности, усадки, ползучести. Однако долговечность дорожных бетонов определяется не только стойкостью к действию природно-климатических факторов, но и стойкостью к эксплуатационным воздействиям, одним из которых является *стойкость к действию абразивного износа*.

Исходя из изложенных ранее представлений о микро-, мезо- и макро-структуре бетона, общая истираемость  $I_6$  определяется относительной истираемостью цементного камня  $I_{цк}$  и заполнителя  $I_3$ , а также разрушением зоны контакта между ними, приводящим к выкрашиванию зерен заполнителя  $B_6$ , следующим образом:

$$I_6 = I_{ук} + I_3 + B_6;$$
$$I_{цк} = I_{цк} \cdot f_{цк}; \quad I_3 = i_3 \cdot f_3,$$

где  $I_{цк}$ ,  $I_3$  – соответственно удельная истираемость цементного камня и заполнителя;  $f_{цк}$ ,  $f_3$  – соответственно удельная площадь, занимаемая цементным камнем и заполнителем.

**Водонепроницаемость** бетона зависит от его плотности, она может быть повышена за счет уменьшения В/Ц отношения при условии тщательного уплотнения, а также путем введения в бетон гидрофобно-пластифицирующих добавок вследствие уменьшения воды затворения и сохранения однородности смеси на всех технологических этапах без ее расслоения, создания системы замкнутых пор и капилляров.

По водонепроницаемости тяжелые бетоны делят на девять марок: W2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 18, 20. Цифра означает выдерживаемое давление воды в паскалях (Па).

Проверка водонепроницаемости проводится в лаборатории путем воздействия напора воды на образец цилиндрической формы толщиной 15 см при различных гидростатических давлениях (от  $2 \cdot 10^5$  до  $12 \cdot 10^5$  Па). Бетоны, имеющие в основном только тонкие капиллярные поры, практически водонепроницаемы.

Водонепроницаемость бетона – важнейший показатель его стойкости, так как развитие большинства коррозионных процессов порождается его водопроницаемостью.

**Морозостойкость** оценивают числом циклов попеременного замораживания – оттаивания образцов в насыщенном водой состоянии, которое выдерживают бетонные образцы в возрасте 28 суток без снижения прочности более 15 % и потери в массе более 5 %. По этому свойству бетоны маркируют: F 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 и 500.

Вода при переходе в лед увеличивается в объеме приблизительно на 9 %. Таким образом, замерзая в порах и капиллярах, вода оказывает давление на стенки, разрушая их с образованием трещин, что приводит к снижению прочности.

Морозостойкость зависит от структуры цементного камня, его пористости и может быть повышена путем введения поверхностно-активных добавок, которые, пластифицируя бетонные смеси, уменьшают количество воды затворения и как следствие число открытых пор в затвердевшем бетоне.

### *Лекция 33. КОРРОЗИЯ БЕТОНА*

Бетоны и цементный камень как его матричная часть в эксплуатационных условиях подвержены коррозионному воздействию различных сред,

особенно минерализированной морской воды, минеральных и органических кислот, биосферы.

Негативное влияние на состав и структуру цементного камня могут оказывать щелочная среда, пресная вода, особенно водные растворы элетролитов.

В индустриальных районах коррозионные влияния оказывают газы (сероводород, хлористый водород, аэрозоли).

Агрессивное воздействие оказывают твердые высокодисперсные вещества, способные образовывать во влажных условиях прослойки из коллоидных и истинных растворов.

Кроме химических реакций, при контакте с агрессивной средой возможны физические сорбционные процессы с поглощением из среды поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Сущность коррозионного воздействия различных факторов выражается:

- **в растворении** структурных компонентов цементного камня и последующем процессе **вымывания** растворов силой напора или под влиянием диффузии;

- **образовании** новых химических соединений в цементном камне, способных **растворяться** в жидкой омывающей среде;

- **кристаллизации или набухания** новообразований с возникновением механических напряжений внутри цементного камня и образованием микротрещин.

### ***Противокоррозионные мероприятия***

Повышение стойкости бетона к процессам коррозии достигается рядом мероприятий:

- технологических;
- эксплуатационных.

#### ***Технологические мероприятия***

- ограничение содержания трехкальциевого силиката  $C_3S$  до 50 %, чтобы уменьшить содержание в цементном камне  $Ca(OH)_2$ ;

- введение аморфных кремнеземистых добавок в цемент для химического связывания  $Ca(OH)_2$ ;

- повышение плотности с помощью ПАВ;

- использование жестких бетонных смесей и придание бетонам оптимальной структуры;

- снижение концентрации дефектов усадочного характера в бетоне;
  - применение в смесях гидрофобизаторов;
  - в кислотосодержащих средах защищают слоями из кислотоупорного цемента;
  - использование специальных сульфатостойких портландцементов;
  - пропитка поверхностного слоя бетона растворами уплотняющих веществ (флюатов, полимеров и мономеров);
  - оклеивание изоляцией.
- Эксплуатационные мероприятия*
- обработка поверхности с помощью пескоструйных аппаратов;
  - придание изделиям форм, препятствующих скоплению агрессивных сред;
  - устранение щелей и других полостей;
  - надежная герметизация.

## **ТЕМА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕТОНА**

### **Лекция 34. ТРЕБОВАНИЯ К ИСХОДНЫМ МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ БЕТОНА**

#### *Цемент*

Для изготовления цементных бетонов применяют различные виды цемента.

Цемент выбирают с учетом особенностей технологии производства работ, вида и назначения конструкций и сооружений, а также условий их эксплуатации.

Марку цемента для изготовления бетона заданного класса следует выбирать таким образом, чтобы его расход был минимальным. Для экономного расходования цемента рекомендуется, чтобы его марка превышала заданную прочность бетона в 1,5 – 2 раза.

#### *Мелкий заполнитель*

В соответствии с требованиями ГОСТ 10268-80 в качестве мелкого заполнителя для бетона применяют природные, а также дробленые пески. В ряде случаев при бетонировании особо ответственных сооружений ис-

пользуют обогащенные и фракционированные пески, отвечающие требованиям ГОСТ 8736-85.

Песок для бетона выбирают по показателю его свойств: модулю крупности, зерновому составу, виду и количеству различных примесей (глинистых, пылевидных, илистых частиц и органических соединений), наличию в нем потенциально реакционно-способных пород и минералов (аморфных разновидностей кремнезема, слюды, гипса, серы, асбеста) и других вредных примесей.

Крупность и зерновой состав песка оказывают большое влияние на расход цемента в бетоне для получения заданной прочности. Чем выше модуль крупности  $M_k$  песка и ниже его пустотность, тем меньше потребуются цементного теста для заполнения пустот между зернами песка и их обволакивания, следовательно меньшим будет расход цемента.

Пустотность песка удовлетворительного зернового состава не превышает 40 %. В бетонах для всех видов конструкций и изделий (кроме водопропускных труб) применяют пески с  $M_k = 1,5 - 3,2$ . Для напорных и безнапорных водопропускных труб минимальное значение  $M_k$  должно быть равно соответственно 2,5 и 2.

Мелкие пески требуют повышенного расхода цемента, что часто приводит к необходимости добавлять в них высевки. Песок должен состоять из зерен различных размеров и соответствовать предельным кривым рассеивания. Повышенное содержание в песках глинистых, пылевидных, илистых и органических примесей значительно ухудшает качество бетона, так как возрастает необходимость в увеличении воды затворения, расхода цемента, снижается прочность, морозостойкость, повышается водопроницаемость бетона.

Количество глинистых пылевидных и илистых частиц, определяемых *методом отмучивания*, не должно превышать (по массе):

- в природном песке – 3 %;
- дробленом – 4 %;
- дробленом из отсевов – 5 %.

Содержание глины в комках не должно превышать 0,35 – 0,5 % по массе. Глина, обволакивая отдельные частицы песка, препятствует сцеплению с цементным камнем.

Для бетона транспортных сооружений содержание сернокислых и сернистых соединений в пересчете на  $SO_3$  в песке не должно превышать

1 % по массе, так как эти соединения вызывают коррозию цементного камня в бетоне.

Включения слюды, которая имеет пластинчатое строение, ухудшают сцепление песка с цементным камнем, снижают прочность и морозостойкость бетона. Содержание слюды в песке не должно превышать 1 % по массе.

В песках иногда содержатся органические примеси (остатки растительности, гумус), которые снижают прочность бетона до 25 %. Содержание органических примесей в песке определяется *колометрическим методом*, пробу песка обрабатывают 3-процентным раствором едкого натра. Если окраска этого раствора при растворении в нем солей органических веществ остается светлее цвета эталона, то песок пригоден для изготовления бетона.

### ***Крупный заполнитель***

В качестве крупного заполнителя для тяжелых бетонов применяют щебень из различных горных пород, доменного шлака, а также щебень из гравия и гравий.

Выбор крупного заполнителя для бетона определяют по показателям его свойств: крупности и зерновому составу, истинной, средней и насыпной плотности, прочности, содержанию зерен слабых пород, формы зерен, содержанию вредных примесей.

Наибольшая ***крупность щебня (гравия)*** должна составлять не более  $1/3 - 1/4$  минимального сечения конструкции. Это позволяет равномерно распределять и тщательно уплотнять бетонную смесь, повышать однородность бетонной смеси в конструкции.

Крупный заполнитель должен быть в виде ***отдельных фракций***, разделение на которые производится в зависимости от наибольшей крупности зерен щебня.

С целью получения плотных смесей, снижения расхода цемента, повышения однородности бетона рекомендуется применять крупный заполнитель, состоящий из различных фракций, дозируемых в определенных отношениях.

Требования к прочности щебня, используемого в качестве крупного заполнителя, должны удовлетворять зависимости  $R_{щ} \geq 1,5 R_б$  ( $R_б$  – прочность бетона).



**Показателем марки** щебня (гравия и щебня из гравия) является **дробимость**, которая определяется путем раздавливания пробы в цилиндре и дальнейшим рассевом через контрольные сита с установлением потери в массе, а также **износ** в полочном барабане. Марка щебня устанавливается по пределу прочности исходной горной породы при сжатии в водонасыщенном состоянии.

В крупном заполнителе **содержание слабых зерен** допускается не более 10 %, а для бетонов, подвергающихся попеременному замораживанию – оттаиванию, – не более 5 %.

При дроблении горных пород и шлаков образуются зерна щебня неправильной формы. Желательно, чтобы щебень состоял из зерен кубовидной формы, так как они лучше воспринимают нагрузки. **Содержание зерен игловатой и пластинчатой (лещадной) форм** не должно превышать 25 % по массе.

Морозостойкость крупного заполнителя должна быть не ниже проектной морозостойкости бетона.

**Содержание пылевидных и глинистых частиц** в щебне:

- из изверженных и метаморфических горных пород, щебне из гравия и гравии не должно превышать 1 % по массе;

- осадочных горных пород – не более 2 – 3 % по массе.

Содержание сернокислых и сернистых соединений в крупном заполнителе в пересчете на SO<sub>3</sub> не должно превышать 0,5 % по массе; содержание органических примесей не допускается.

### **Вода**

1. Водородный показатель должен быть в пределах  $4 < \text{pH} < 12,5$ .
2. Вода затворения не должна содержать пленки нефтепродуктов, жиров, масел.
3. Органических ПАВ и сахаров не должно быть более 10 мг/л.
4. Допустимое содержание в воде затворения:
  - растворимых солей – 10000 мг/л;
  - ионов SO<sub>4</sub> – 2700 мг/л;
  - ионов хлора – 3500 мг/л;
  - взвешенных частиц – 300 мг/л.
5. Недопустимо применять болотные, торфяные, загрязненные промышленными отходами, сточные воды.

Пригодность морской и озерной воды для затворения, а также полива бетона при уходе часто проверяют путем опытных затворений и ухода с последующей оценкой сравнительной прочности бетонов в возрасте 28 суток.

### *Добавки*

Для улучшения свойств бетонной смеси и бетона в их состав вводят добавки, которые способствуют снижению расхода цемента, ускорению твердения, твердению при отрицательных температурах, усилению защиты арматуры в бетоне от коррозии, повышению стойкости бетона в различных агрессивных средах.

Добавки к бетону делят на пластифицирующие, воздухововлекающие, газообразующие, уплотняющие, регулирующие сроки схватывания, ускоряющие твердение, противоморозные и ингибиторы коррозии арматуры.

В последнее время в практике производства бетонных работ находят применение высокоэффективные разжижители бетонных смесей – суперпластификаторы. С их введением с смесь осадка конуса (ОК) возрастает с 1 – 2 см до 20, что позволяет снизить водопотребность смеси и уменьшить расход цемента. При неизменном расходе цемента можно получить бетоны высокой прочности.

Для регулирования свойств бетонных смесей и бетонов в смесь вводят комплексные добавки, например, хлористый кальций – ускоритель твердения в сочетании с нитритом натрия – ингибитором коррозии арматуры и другие сочетания.

Оптимальную дозировку любой из добавок или комплексной добавки устанавливают опытным путем [5].

## *Лекция 35. ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕТОНА*

Одной из основных технологических задач является проектирование состава бетонной смеси (бетона).

Проектирование бетона состоит в выборе материалов для его приготовления с учетом условий производства работ и особенностей эксплуатации сооружений (климата, воздействий нагрузок и других особенностей). Разработан ряд методов проектирования состава, в том числе официальные

руководства, облегчающие эту задачу. Каждый раз необходимо выбирать тот метод проектирования, который при принятой технологии способен обеспечить получение наиболее достоверного состава и оптимальной структуры бетона.

Общий метод проектирования состава бетона содержит три обязательных этапа, взаимосвязанных между собой.

**I этап** включает следующие технологические операции:

- обосновывают главные (ключевые) показатели строительно-технологических и эксплуатационных свойств материала путем анализа условий работы конструкции. Отмечают характер и величину вероятных механических нагрузок в период эксплуатации, интенсивность их приложения, экстремальные температуры воздуха (зимой, летом) и размеры температурных перепадов, влажностные условия;

- производят выбор и проверяют свойства выбранных материалов особенно вяжущего, а также заполнителей;

- назначают лабораторные условия изготовления и испытания образцов с предельно возможным моделированием натуральных (производственных) условий.

На **II этапе** проектирования состава определяют рекомендуемый состав заполнителей. Подбор оптимального состава на этом этапе практически состоит в назначении расхода подготовленных материалов на 1 т или 1 м<sup>3</sup> бетона.

На данном этапе выполняют следующие операции:

- оценка ключевого свойства и определение минимального фазового отношения вяжущего вещества оптимальной структуры, при необходимости его предварительная обработка (поризация);

- получение состава плотной смеси заполнителя с его необходимой предварительной классификацией и применением уплотнения, принятого в производственных условиях;

- нахождение расчетной величины В/Ц отношения, при котором обеспечивается требуемое значение прочности;

- определение количества (по массе) вяжущего вещества в конгломерате при найденном значении В/Ц отношения;

- расчет состава смеси;

- проверка свойств конгломерата принятого состава.

На **III этапе** изготавливают пробный замес по возможности в производственных условиях, с помощью которого проверяют качество смеси и

конгломерата запроектированного состава – удобоукладываемости, прочности, деформативности, водостойкости, морозостойкости и других свойств. Особо устанавливают наличие оптимальной структуры. Если в ходе проверки замечены отклонения от заданных параметров, то проводят корректировку состава [4].

### Лекция 36. РАСЧЕТ СОСТАВА БЕТОНА

Существуют несколько методов расчета состава бетона. Наиболее распространенным является *метод абсолютных объемов*, по которому соотношение материалов рассчитывается по их абсолютным объемам с последующим изготовлением пробных лабораторных замесов.

*Абсолютным объемом* считается теоретический объем материала без межзерновых пустот. Такой объем (л) получают при делении массы материала (кг) на плотность или объемную массу (кг/л).

При исходных материалах наибольшая плотность обеспечивается в том случае, если сумма абсолютных объемов исходных материалов, взятых для приготовления 1 м<sup>3</sup> бетонной уплотненной смеси, соответствует 1000 л.

Исходя из этого составляют *основное уравнение* абсолютных объемов исходных материалов, количество которых необходимо на 1 м<sup>3</sup> абсолютно плотной бетонной смеси:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} = 1000, \quad (1)$$

и второе уравнение, исходя из условия, что цементно-песчаный раствор должен заполнить все пустоты между щебнем с некоторой раздвижкой его зерен, что необходимо для получения удобоукладываемой смеси и связывания зерен заполнителя:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} = d_{щ} K_{щб} \frac{Щ}{\rho_{0щ}}, \quad (2)$$

где Ц, В, П, Щ – расходы цемента, воды, песка и щебня, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{ц}$ ,  $\rho_{в}$ ,  $\rho_{п}$ ,  $\rho_{щ}$  – истинная плотность цемента, воды, песка и щебня, кг/л;

$\rho_{0щ}$  – средняя плотность щебня;

$K_{щб}$  – коэффициент раздвижки зерен раствором;

$d_{щ}$  – пустотность щебня в относительных единицах.

Совместным решением уравнений (1) и (2) получим формулы для определения необходимого количества заполнителей:

$$\text{Щ} = \frac{1000}{d_{\text{щ}} \cdot \frac{K_{\text{щб}}}{\rho_{0\text{щ}}} + \frac{1}{\rho_{\text{щ}}}}, \quad (3)$$

$$\left[ \text{П} = 1000 - \left\{ \frac{\text{Ц} + \text{В} + \text{П} + \text{Щ}}{\rho_{\text{ц}} \rho_{\text{в}} \rho_{\text{п}} \rho_{\text{щ}}} \right\} \rho_{\text{п}} \right] \quad (4)$$

Далее составы бетонов подбирают в следующем порядке:

1. Определяют В/Ц отношение по формуле

$R_6 = A R_{\text{ц}} ( \text{Ц}/\text{В} - C )$ , откуда  $\text{В}/\text{Ц} = ( A R_{\text{ц}} ) / ( R_6 \pm C R_{\text{ц}} A )$ , где (-) при  $\text{В}/\text{Ц} \geq 0,4$ ; (+) при  $\text{В}/\text{Ц} < 0,4$ .

2. Определяют ориентировочный расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

Количество воды затворения (л/м<sup>3</sup>) должно обеспечить заданную удобоукладываемость смеси. Оно назначается ориентировочно по таблице и графику с учетом заданного показателя подвижности или жесткости смеси и качества исходных материалов.

3. Определяют расход цемента.

После назначения количества воды, зная В/Ц отношение, рассчитывают количество цемента  $\text{Ц} = \text{В} : \text{В}/\text{Ц}$ .

4. По формулам (3) и (4) определяют расход щебня и песка.

5. Проверяют удобоукладываемость смеси. После выполнения предварительного расчета состава бетона делают пробный замес бетонной смеси объемом 10 л, определяют осадку конуса (ОК) или жесткость (Ж).

Если бетонная смесь получилась недостаточно подвижной, увеличивают количество воды и цемента без изменения В/Ц отношения, но не добавляя заполнителя. Если подвижность смеси больше требуемой, добавляют песок и крупный заполнитель. Таким образом добиваются заданной подвижности и удобоукладываемости.

После доведения удобоукладываемости до заданных пределов пересчитывают расход материалов с учетом добавок воды ( $\Delta\text{В}$ ) и цемента ( $\Delta\text{Ц}$ ) или песка и щебня соответственно. Сначала рассчитывают абсолютный объем сделанных добавок ( $\Delta V$ ), затем – уточненный состав материалов (кг/м<sup>3</sup>) по формулам:

$$\text{Ц}' = \frac{\text{Ц} + \Delta\text{Ц}}{10 + \Delta V} 1000, \quad \text{В}' = \frac{\text{В} + \Delta\text{В}}{10 + \Delta V} 1000.$$

$$\Pi' = \frac{\Pi}{10 \Delta V} 1000, \quad \text{Щ}' = \frac{\text{Щ}}{10 + \Delta V} 1000.$$

6. Проверяют прочность бетона.

Проверяют прочность подобранного состава бетона на образцах – кубах и балках, изготовленных из подобранной смеси и уплотненных вибрированием. Ко времени испытания образцы выдерживают во влажной среде при температуре 17 – 20 °С. Первые сутки образцы хранят в формах, а затем – без форм, в течение 27 суток во влажных условиях.

7. Рассчитывают номинальный (лабораторный) состав бетона.

Зная расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона, можно подсчитать его номинальный состав без учета влажности песка щебня. **Номинальный состав** бетона по массе определяют как

$$\frac{\text{Щ}' / \Pi' / \text{Щ}}{\text{Щ} / \Pi / \text{Щ}} = 1 / \left( \frac{\Pi}{\text{Щ}} \quad \frac{\text{Щ}}{\text{Щ}} \right)$$

а по объему

$$\frac{V_{\text{щ}} / V_{\text{п}} / V_{\text{щ}}}{V_{\text{щ}} / V_{\text{п}} / V_{\text{щ}}} = 1 / \left( \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{щ}}} \quad \frac{V_{\text{щ}}}{V_{\text{щ}}} \right)$$

Номинальный состав бетонной смеси пересчитывают на полевой на основании установленной влажности песка и щебня, которая в значительной степени влияет на изменение В/Щ отношения и снижает прочность бетона. Поэтому необходимо 2 – 3 раза в сутки контролировать влажность заполнителей и вносить корректировку в состав бетона.

Количество воды затворения уменьшается на величину, равную количеству воды в заполнителях. Состав бетона с такими поправками называется полевым. **Полевой состав** рассчитывают:

$$\begin{aligned} \text{Ц}_к &= \text{Ц}; \quad \text{В}_к = \text{В}' - \Pi' d/100 - \text{Щ}' \delta/100, \\ \text{П}_к &= \Pi' + \Pi' d/100; \quad \text{Щ}_к = \text{Щ}' + \text{Щ}' \delta/100, \end{aligned}$$

где  $\text{Ц}_к$ ,  $\text{В}_к$ ,  $\text{П}_к$ ,  $\text{Щ}_к$  – откорректированные значения составляющих на 1 м<sup>3</sup> бетона, кг;  $d$  и  $\delta$  – фактическая влажность песка и щебня, %.

8. Определяют коэффициент выхода бетона.

Материалы, предназначенные для изготовления бетона ( $V_{\text{щ}}$ ,  $V_{\text{п}}$ ,  $V_{\text{щ}}$ ), до перемешивания занимают объем, равный сумме их объемов в отдельности. При совместном перемешивании материалов произойдет уплотнение бетонной смеси, так как пустоты в щебне будут заполнены песком, а пустоты в песке – цементным тестом. Полученный объем бетонной смеси  $V_6$  будет всегда меньше, чем сумма объемов, составляющих его материалов, что можно выразить неравенством

$$V_6 < (V_{\text{щ}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}).$$

Это неравенство можно заменить равенством путем введения **коэффициента выхода бетона**

$$V_6 = \beta (V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}),$$

где  $\beta$  – коэффициент выхода бетона, который всегда меньше единицы и колеблется в пределах 0,5 – 0,7 в зависимости от объема пустот в заполнителях.

Зная расход материалов по объему на 1 м<sup>3</sup> бетона, можно определить коэффициент выхода бетона

$$\beta = 1000 / (V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}),$$

где  $V_{\text{ц}}$ ,  $V_{\text{п}}$ ,  $V_{\text{щ}}$  – насыпной объем цемента, песка, щебня, л.

Коэффициент выхода бетона является важной характеристикой, позволяющей определить не только объем бетонной смеси из имеющихся материалов, но и вести расчет материалов на заданную вместимость бетономешалки.

9. Определяют расход материалов на замес бетономешалки по следующим формулам:

$$Ц_V = \frac{\beta V}{1000} \text{ Ц}, \quad В_V = \frac{\beta V}{1000} \text{ В}, \quad П_V = \frac{\beta V}{1000} \text{ П}, \quad Щ_V = \frac{\beta V}{1000} \text{ Щ},$$

где  $Ц_V$ ,  $В_V$ ,  $П_V$ ,  $Щ_V$  – количество цемента, воды, песка и щебня на замес бетономешалки объемом  $V$ ; Ц, В, П, Щ – расход цемента, воды, песка и щебня на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг [5].

## **ТЕМА. ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОННЫХ РАБОТ**

### **Лекция 37. ПРИГОТОВЛЕНИЕ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И УКЛАДКА БЕТОННОЙ СМЕСИ**

#### **Приготовление**

Качество бетонной смеси и бетонов во многом зависит от особенностей перемешивания бетонной смеси в бетоносмесительных агрегатах.

#### **Классификация**

I. По времени действия бетоносмесители делятся на два типа:

- периодического;
- непрерывного действия.

В бетоносмесителях периодического действия рабочие циклы протекают с перерывами, т. е. в них периодически загружают порции материалов, перемешивают и выгружают бетонную смесь.

В бетоносмесителях непрерывного действия все три операции производят непрерывно.

II. По способу перемешивания бетоносмесители бывают:

- с принудительным перемешиванием;
- перемешиванием при свободном падении материалов под действием сил гравитации.

В бетоносмесителях принудительного перемешивания материалы перемешиваются в неподвижном смесительном барабане при помощи вращающихся лопастей, насаженных на вал; рекомендуются для приготовления жестких смесей. Емкость бетономешалок этого типа может быть – 375, 750 и 1500 л. Объем бетономешалки определяется не выходом готового бетона, а суммой объемов, загружаемых материалов.

В бетоносмесителях со свободным перемешиванием перемешивание производится путем вращения барабана, на внутренней поверхности которого имеются лопасти. При вращении барабана лопасти захватывают бетонную смесь, поднимают ее на определенную высоту и сбрасывают, чем обеспечивают интенсивное перемешивание. Емкость бетономешалок этого типа может быть – 100, 250, 500, 750, 1200, 1500, 2400 и 4500 л.

Заполнители дозируют по массе, а жидкие составляющие (вода, водные растворы добавок) – по объему. Погрешность дозирования исходных материалов не должна превышать для цемента, воды, добавок  $\pm 2\%$ , для заполнителей –  $\pm 2,5\%$ .

### ***Транспортирование***

Бетонная смесь может поставляться в виде сухой смеси цемента с заполнителями и затворяться водой в автобетоносмесителях в пути их следования или на месте укладки. Для доставки бетонной смеси от бетоносмесителя до места укладки применяют вагонетки с опрокидывающимися кузовами, транспортеры, бетононасосы, специальный автотранспорт.

Способ доставки бетонной смеси к месту укладки должен обеспечить сохранение ее однородности и удобоукладываемости. Время транспортирования бетонной смеси ограничивается.

При перевозке автотранспортом бетонная смесь должна быть жесткой и малоподвижной, так как подвижные смеси при перевозках в автомо-



биле легко расслаиваются. Пластичные смеси целесообразнее перевозить в автобетоносмесителях.

Завод-изготовитель на каждую партию бетонной смеси выдает паспорт с указанием: наименования и адреса завода, номера и даты выдачи паспорта, количества смеси в м<sup>3</sup>, марки бетона, а также результатов испытаний контрольных образцов на прочность. Потеря подвижности при транспортировании бетонных смесей не должна превышать 50 % при подвижности не более 8 см, 30 % – при подвижности свыше 8 см.

### **Укладка**

Наиболее трудоемкие операции – укладка бетонной смеси, ее распределение и уплотнение. Эти операции в настоящее время механизированы и выполняются бетоноукладчиком или специализированным комплектом машин. Их применение позволяет механизировать не только укладку, но и процесс распределения бетонной смеси в форме или опалубке.

Бетонную смесь следует укладывать в опалубку так, чтобы в ней не оставалось воздушных пузырьков.

Наиболее распространенным способом уплотнения бетонных смесей является вибрирование. При вибрации (частота колебаний 1500 – 3000 в минуту, амплитуда – 0,1 – 0,6 мм) бетонная смесь становится текучей. Разжиженная смесь легко заполняет форму, крупный и мелкий заполнители располагаются плотно. При этом вытесняются воздушные пузырьки.

Для виброуплотнения применяют вибраторы различных типов. Для укладки и уплотнения полов, плитных конструкций, дорог используют *поверхностные вибраторы*, передающие колебания через площадку, на которой закреплен вибратор. Глубина проработки – 25 см.

Глубинные внутренние вибраторы применяют для укладки и уплотнения бетонных смесей в массивных конструкциях, фундаментах, балках и т. п. Рабочие органы этих механизмов полностью погружаются в бетонную смесь.

Эффективность виброуплотнения оценивается *коэффициентом уплотнения* – это отношение фактической средней плотности уплотненной смеси к ее теоретической средней плотности. Коэффициент уплотнения равен 0,95 – 0,98 [4].

## **Лекция 38. УХОД ЗА ТВЕРДЕЮЩИМ БЕТОНОМ**

Заключительный этап производства бетона – уход за бетоном. Он состоит из комплекса мероприятий, обеспечивающих благоприятные условия

твердения свежеуложенной и уплотненной смеси. Кроме того, уход за бетоном включает в себя мероприятия, предохраняющие бетон от повреждения.

Бетон набирает прочность постепенно, по мере твердения цементного камня. В начальный период нарастание прочности происходит более интенсивно. Скорость нарастания прочности в значительной мере зависит от температуры и влажности среды, а также от вида цемента, причем ее можно повысить введением специальных добавок.

Уход за бетоном необходимо начинать сразу после укладки и уплотнения бетонной смеси. Хорошее качество бетона можно получить, если создать влажную среду для его твердения, для этого нужно защитить поверхность от высыхания. Одним из эффективных методов ухода за свежеуложенным бетоном является покрытие его поверхности пленкообразующими веществами (битумная эмульсия, жидкий битум, лак – этиноль, помароль и другие вещества), широко используется полиэтиленовая пленка. Кроме того, по свежеуложенной поверхности распределяют слой песка, систематическое увлажнение которого позволяет создать требуемый влажностный режим.

При жаркой погоде предохраняют компоненты от нагревания, периодически увлажняя заполнители холодной водой или применяя охлаждающие устройства, укрывая водопроводную линию, искусственно охлаждая воду затворения или частично заменяя ее льдом.

### ***Зимнее бетонирование***

Методы круглогодичного строительства впервые были разработаны в нашей стране. При температуре ниже 5 °С требуется ряд мероприятий, обеспечивающих твердение бетона, так как значительно замедляется гидратация цемента и прочность нарастает крайне медленно. При температуре 3 – 5 °С вода в бетоне переходит в лед и процессы твердения практически прекращаются.

Однако после оттаивания льда бетон снова начинает набирать прочность. Если бетон замерзает в раннем возрасте, то после оттаивания и дальнейшего твердения он имеет низкую прочность и морозостойкость. Это объясняется тем, что замерзшая вода, расширяясь при замерзании, образует цементный камень и нарушает его сцепление с заполнителями. В связи с этим к началу замораживания бетон марок 200, 300 должен приоб-

рести не менее 40 %, а бетон марок 400, 500 – не менее 30 % проектной прочности.

Зимой бетону нужно создавать благоприятные условия твердения в первые двое-трое суток после укладки.

### ***Методы зимнего бетонирования***

1. *Метод термоса* применяют при бетонировании массивных сооружений. При этом способе теплую бетонную смесь укладывают в утепленную опалубку с укрытием поверхности уплотненного бетона теплоизоляционными материалами (шлаковата, керамзитовый гравий и др.). Выделяющееся при твердении тепло способствует поддержанию положительной температуры в бетоне. Для зимнего бетонирования используют быстротвердеющие цементы с высокой экзотермией. В процессе приготовления бетонной смеси воду подогревают до 60 – 90 °С, заполнители – до 40 °С, для того, чтобы на выходе бетонная смесь имела температуру не выше 30 °С (так как более высокая температура приводит к быстрому загустеванию смеси).

2. *Паропрогрев или прогрев с помощью теплого воздуха.* Подогревают бетон, пропуская пар между двойной опалубкой или каналам, вырезанным в опалубке. Паропрогрев производят насыщенным паром, чтобы не высушивать бетон. В течение нескольких суток паропрогрева температурой 60 – 80 °С прочность бетона достигает 60 – 70 % проектной. Недостатками данного метода являются:

- большие затраты энергии;
- необходимость создания паросиловых установок.

3. *Электропрогрев* – прогрев при котором через бетон пропускают переменный ток напряжением не выше 127 В. В течение нескольких суток прогрева бетон приобретает 50 – 60 % проектной марки. Остывание бетона после прогрева должно быть постепенным со скоростью 5 – 10 °С/ч во избежание появления трещин.

4. *Обогрев инфракрасными лучами.* Для этого применяют генераторы инфракрасного излучения в виде стержней и трубок, нагреваемых до 100 °С. Прогрев осуществляется через синтетическую пленку во избежание испарения воды. Метод целесообразен для тонкостенных конструкций толщиной до 20 см.

5. В дорожном строительстве широкое распространение получил безобогревный метод зимнего бетонирования – *метод холодного бетона*, ко-

торый заключается в том, что в воду затворения вводят соли, понижающие температуру ее замерзания и ускоряющие твердение бетона. Лучшие противоморозные добавки – хлористые соли кальция и натрия, поташ ( $K_2CO_3$ ), нитрит натрия ( $NaNO_2$ ).

Раствор хлористых солей усиливает коррозию арматуры, поэтому бетоны с этими добавками нельзя применять в железобетонных конструкциях или следует применять в сочетании с ингибиторами коррозии, а также в неармированных конструкциях [6].

## **ТЕМА. ДОРОЖНЫЙ БЕТОН**

### **Лекция 39. КЛАССИФИКАЦИЯ. ТРЕБОВАНИЯ К ИСХОДНЫМ МАТЕРИАЛАМ**

В соответствии с принятой терминологией цементным бетоном следует считать искусственный камневидный материал, представляющий собой затвердевшую смесь вяжущего (цемента), заполнителей, воды и необходимых добавок.

*Дорожный бетон*, т. е. цементный бетон для дорожных и аэродромных покрытий и оснований, относится к конструкционным бетонам плотной структуры на плотных заполнителях или к тяжелым бетонам.

#### ***Классификация бетонов***

*I. По назначению* дорожные бетоны подразделяют:

- на бетоны для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий;
- бетоны для нижнего слоя дорожных покрытий;
- бетоны для дорожных (аэродромных) оснований.

*II. По разновидностям* дорожные бетоны могут быть:

- мелкозернистые, т. е. без крупного заполнителя;
- карбонатные, заполнители в которых получены из карбонатных осадочных пород (известняков, доломитов);
- «тощие бетоны» – бетоны низких марок для монолитных оснований автомобильных дорог, укладываемые методом прессования (дорожным катком);
- высокопрочный дорожный бетон – бетон для дорожных покрытий и аэродромов марок на растяжение при изгибе  $R_{изг}$  60 и выше (по ГОСТ 8424-72 «Бетон дорожный» максимальная марка  $R_{изг}$  55);

- литой дорожный бетон, характеризуется высокой подвижностью, позволяющей использовать его по литевой технологии и уплотняющийся под действием собственного веса.

### *III. По условиям твердения:*

- бетоны, твердеющие в естественных условиях, которые используются для устройства оснований и покрытий, бетонизируемых на месте (монолитный бетон);

- бетоны ускоренного твердения, используемые для производства сборных железобетонных конструкций.

### ***Классификация бетонных смесей***

*По консистенции*, характеризующей их вязкость в статическом состоянии, могут быть: литые; пластичные; жесткие; высокоподвижные; малоподвижные.

Малоподвижные и жесткие смеси по вязкости напоминают сыпучие, рыхлые материалы, а литые, высокоподвижные и пластичные – тяжелые жидкости.

### ***Требования к исходным материалам для дорожных бетонов***

Для обеспечения нормативных и проектных показателей дорожных бетонов (прочности, долговечности и др.) должны применяться для их приготовления материалы, строго отвечающие требованиям.

#### *Цемент*

В качестве вяжущего материала в дорожных бетонах для покрытий дорог и аэродромов могут применяться портландцемент бездобавочный или с минеральной добавкой гранулированного доменного шлака. Марка цемента может быть 400 или 500, начало схватывания должно наступать не ранее чем через два часа после затворения.

Цемент строго нормируется по химико-минералогическому и вещественному составу. Необходимо соблюдать два важных ограничения:

- содержание в цементном клинкере трехкальциевого алюмината  $C_3A$  не должно превышать 8 %;

- в качестве минеральной добавки к портландцементу можно использовать только гранулированный доменный шлак в количестве не более 15 % по массе.

К цементу предъявляются требования по тонкости помола, она не должна превышать  $2800 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Эти ограничения не относятся к цементам дорожных оснований, так как для них допускается применять портландцементы с любыми минеральными добавками и шлакопортландцемент марок 300 – 500, содержание  $C_3A$  не нормируется.

#### *Вода*

Вода для дорожных бетонов должна отвечать требованиям ГОСТ 23732-79. Под термином «вода для бетонов» следует понимать воду, используемую для затворения бетонной смеси, в том числе воду, идущую для приготовления рабочих растворов химических добавок, промывки заполнителей при их сортировке и обогащении в карьерах, а также при охлаждении, воду, применяемую для ухода за твердеющим бетоном. Требования к воде для дорожных бетонов аналогичны требованиям к воде для тяжелых бетонов, рассмотренных выше.

#### *Мелкий заполнитель*

Песок для дорожных бетонов по своему качеству должен отвечать ГОСТ 10268-80. В качестве мелкого заполнителя допускается использовать природные (речные и горные) и искусственные (дробленые) пески, в том числе полученные из отсевов дробления. В соответствии с ГОСТ 8736-77 можно применять обогащенные и фракционированные пески.

К мелкому заполнителю предъявляются требования:

- по зерновому составу, характеризуемому остатком на контрольном сите 0,63 и модулю крупности  $M_k$ . В дорожных бетонах стандарт разрешает применять пески с  $M_k$  не менее 1,5; при  $M_k = 1,5 - 2$  песок рекомендуется использовать для устройства бетонных оснований, при большем значении модуля крупности – в дорожных и аэродромных покрытиях;
- содержанию вредных примесей, включая органические примеси и потенциально реакционно способные породы и минералы;
- содержанию пылевидных, глинистых и илистых частиц (в том числе глины в комках).

Требования по остальным показателям для мелкого заполнителя аналогичны тяжелым бетонам.

#### *Крупный заполнитель*

К крупным заполнителям предъявляют требования по зерновому составу, прочности, плотности, содержанию зерен слабых пород, лещадной и игольчатой форм, водопоглощению, морозостойкости, содержанию пылевидных, глинистых и илистых частиц, петрографическому составу.

Наименьшая крупность щебня – 5 мм; если в основании применяются пески с  $M_k = 1,5 - 2$ , то допускается применять щебень крупностью 3 мм.

Максимальная крупность щебня – 40 мм, для аэродромных покрытий, устраиваемых бетоноукладчиком на скользящих формах, – 20 мм, а для бетонных оснований допускается применение щебня крупностью 70 мм.

Для приготовления дорожных бетонов крупный заполнитель должен поставляться и дозироваться в виде двух или более фракций.

Содержание зерен слабых пород в щебне и гравии для однослойного дорожного бетона и верхнего слоя двухслойных покрытий должна быть не более 7 % по массе, а для бетонных оснований и нижнего слоя двухслойных покрытий – не более 10 % по массе.

В крупном заполнителе для бетонов однослойных и верхнего слоя двухслойных дорожных и аэродромных покрытий ограничивается содержание зерен лещадной и игловатой форм, оно не должно превышать 35 % по массе [2, 6].

#### **Лекция 40. СВОЙСТВА ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ И БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ, ТРЕБОВАНИЯ К НИМ**

Основным свойством, характеризующим дорожные бетоны, так же, как и другие разновидности тяжелых бетонов, является прочность. С учетом работы плит дорожных и аэродромных покрытий в конструкции дорожные бетоны характеризуются двумя показателями прочности:

**- прочностью на растяжение при изгибе  $R_{ри}$ ;**

**- прочностью при сжатии  $R_{сж}$ .**

Прочность на растяжение при изгибе является основной характеристикой дорожных бетонов, поэтому проектирование и подбор состава бетона, контроль его качества осуществляют, прежде всего, с учетом этого показателя.

Прочность при сжатии – нормируемая прочностная характеристика дорожного бетона, ее значение по сравнению с  $R_{ри}$  значительно меньше особенно для оснований и нижних слоев покрытий и составляет

$$R_{ри} / R_{сж} = 1/6 - 1/9.$$

Для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий прочность при сжатии может рассматриваться как косвенная характеристика износостойкости (истираемости) дорожных бетонов, например, если  $R_{сж} > 30$  МПа, то его сопротивление истиранию будет достаточно высоким в условиях интенсивной эксплуатации дорожных покрытий.

Независимо от вида напряженного состояния прочность бетона обусловливается активностью (маркой) цемента и водоцементным отношением В/Ц и выражается формулой

$$R = AR_{ц} (\text{Ц/В} - \text{Б}),$$

где Б – коэффициент, зависящий от вида напряженного состояния; А – коэффициент, отражающий качество заполнителей.

Наращение прочности во времени происходит по логарифмическому закону

$$R_n = R_{28} (\lg n / \lg 28),$$

где  $R_{28}$ ,  $R_n$  – прочность бетона соответственно через 28 и  $n$  суток.

Наиболее интенсивно прочность бетона нормального твердения нарастает в течение 1-го месяца после его укладки. За первые 7 суток – 60 – 75 % от марочной прочности ( $R_{28}$ ), через 3 месяца – 115 %, через 6 месяцев – 130 %.

Важнейшее влияние на прочность бетона оказывают условия его твердения. Приведенные выше данные о прочности бетона в различном возрасте относятся к нормальным условиям твердения, характеризуются температурой воздуха примерно 20 °С и относительной влажностью воздуха 90 – 95 %. В естественных условиях снижение или повышение температуры твердения бетона приводит соответственно к замедлению или ускорению процессов твердения. В процессе строительства должны быть созданы условия, близкие к оптимальным, так как в противном случае происходит обезвоживание бетона и как следствие развитие усадочных деформаций, торможения или прекращения твердения бетона прежде всего в поверхностном слое, что приводит к его быстрому разрушению. Для создания оптимальных влажностных условий твердения бетона необходимо в период строительства тщательно выполнять операции по уходу за ним.

Другим важнейшим показателем качества дорожных бетонов является его *долговечность*, характеризующаяся *показателем морозостойкости*, нормируемым так же, как и прочность.

Из многочисленных факторов, воздействующих на бетон дорожных покрытий, наиболее агрессивным по отношению к бетону является циклическое замораживание – оттаивание и антигололедные реагенты, используемые при зимней эксплуатации покрытий.

В связи с этим методика определения морозостойкости бетона для дорожного строительства предусматривает предварительное насыщение образцов перед испытаниями на морозостойкость в растворе хлористого



натрия NaCl и оттаивания в таком же растворе после каждого цикла замораживания. Такая методика испытаний является более жесткой, что приводит к быстрому их разрушению.

Долговечность (морозостойкость) бетона зависит от его состава и условий твердения. Для обеспечения морозостойкости дорожных бетонов нормативами предъявляются специальные требования к портландцементам (по их химико-минералогическому и вещественному составу), заполнителям (по их морозостойкости) и бетонным смесям (по В/Ц фактору и объему вовлеченного воздуха).

**Деформативные свойства** дорожных бетонов характеризуют их способность деформироваться под действием внешней нагрузки, изменений температуры и влажности воздуха. К характеристикам деформативных свойств дорожных бетонов относятся: прочность на растяжение при изгибе –  $R_{\text{ри}}$ , модуль упругости –  $E$ , коэффициент линейного температурного расширения –  $\alpha_i$ , коэффициент Пуассона –  $\mu$ .

#### ***Требования к свойствам дорожных бетонов***

Требования к дорожным бетонам для конкретного объекта устанавливаются проектом в соответствии с ГОСТ 8424-72 в зависимости от назначения бетона и условий его работы.

Назначение дорожного бетона определяется категорией объекта и проектной нагрузкой, а также конструкцией элемента дорожной одежды, для которой бетон предназначен. К условиям работы дорожных бетонов относятся прежде всего климатические условия района строительства.

Таким образом, требования к дорожным бетонам сводятся к назначению (в проекте) марок бетона по прочности на растяжение при изгибе ( $R_{\text{ри}}$ ), по прочности на сжатие ( $M$ ) и по морозостойкости ( $F$ ).

Согласно ГОСТу для покрытий автодорог и аэродромов (одно- и двухслойных) применяют следующие марки бетона:

- по прочности на растяжение при изгибе ( $R_{\text{ри}}$ ) – 35, 40, 45, 50, 55;
- по прочности на сжатие ( $M$ ) – 250, 300, 350, 400, 500.

При этом бетон марок  $R_{\text{ри}}$  35 и  $M$  250 можно применять только для нижнего слоя покрытия.

- по морозостойкости:  $F$  100, 150, 200 – для однослойных и верхнего слоя двухслойных в районах со среднемесячной температурой наиболее холодного воздуха соответственно от 0 до 5 °С; от – 5 до – 10 °С; от – 15 °С и ниже;

$F$  50, 100 для нижних слоев двухслойных покрытий в районах с температурой соответственно от 0 до  $-15$  °С; от  $-15$  °С и ниже.

Для бетонных оснований под капитальные усовершенствованные покрытия применяются следующие марки бетонов:

- по прочности на растяжение при изгибе –  $R_{\text{пр}}$  15, 20, 25, 30, 35;
- по прочности на сжатие –  $M$  75, 100, 150, 200, 250;
- по морозостойкости –  $F$  25 при температуре от 0 до  $-5$  °С,  $F$  50 при  $-5$  °С и ниже.

Для обеспечения необходимой морозостойкости бетонов, точнее бетонных смесей, предъявляют требования, регламентирующие В/Ц отношение и объем воздухововлечения ( $V_{\text{в}}$ ).

Для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий В/Ц отношение должно быть не более 0,5, а  $V_{\text{в}} = 5 - 6$  % (измеряется через 30 мин после приготовления). Для нижнего слоя бетонных покрытий В/Ц отношение не более 0,6, а  $V_{\text{в}} = 3,5 - 4,5$  %. Для бетонных оснований эти показатели не нормируются.

Для бетонных смесей, укладываемых в конструкцию дорожной одежды с применением виброуплотнения, регламентируется их удобоукладываемость не месте укладки, которая характеризуется показателями подвижности (ОК) в пределах 1 – 4 см и жесткости (Ж) в пределах 3 – 10 с [5].

## ТЕМА. СБОРНЫЙ БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

### Лекция 41. ПЛИТЫ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И АЭРОДРОМОВ

Плиты для покрытий аэродромов, автомобильных дорог и городских проездов изготавливают, как правило, из железобетона.

**Железобетон** – строительный материал, в котором рационально объединены цементный бетон и стальная арматура, которая воспринимает растягивающие напряжения.

Так как условия эксплуатации плит практически одинаковы с покрытиями из монолитного цементобетона, требования к бетону этих плит также идентичны.

Марки бетона по морозостойкости для аэродромных и дорожных плит назначают в зависимости от расчетной среднемесячной температуры воздуха наиболее холодного месяца в районе строительства:

- до  $-5$  °С включительно –  $F 100$ ;
- ниже  $-5$  до  $-15$  °С включительно –  $F 150$ ;
- ниже  $-15$  °С –  $200$ .

К **общим требованиям** для сборных и монолитных покрытий относятся:

- требования к портландцементу;
- к заполнителям и воде;
- к объему вовлеченного в бетонную смесь воздуха, который должен составлять 5 – 6 %, что достигается введением воздухововлекающей или комплексной химической добавки, включающей воздухововлекающую и пластифицирующую добавки.

**Дополнительные требования** к сборным железобетонным плитам:

- предельное значение В/Ц отношения не должно превышать 0,35;
- крупность зерен не должна быть более 20 мм.

### **Разновидности плит**

Для строительства сборных аэродромных покрытий применяют сборные железобетонные плиты типа **ПАГ – плита аэродромная гладкая**. Эти плиты широко используют при строительстве сборных железобетонных покрытий в нефтепромысловых районах Западной Сибири. Плиты типа ПАГ имеют размеры в плане  $6 \times 2$  м и толщину 14 и 18 см, в соответствии с которой различают два типа таких плит ПАГ-14 и ПАГ-18. Полная маркировка плит включает обозначение типа плиты в зависимости от конструкции стыкового соединения (1 – стыковое соединение, обеспечивающее горизонтальное перемещение плит в поперечных швах аэродромного покрытия; 2 – стыковые соединения, исключающие такое перемещение).

Например, 1ПАГ – А IV – плита типа ПАГ толщиной 14 см со стыковым соединением, обеспечивающим горизонтальное перемещение плит, с напрягаемой арматурой класса А IV.

Рабочая поверхность плит, соответствующая поверхности аэродромного покрытия, для обеспечения требуемых эксплуатационных качеств должна иметь необходимую степень шероховатости или специальное рифление. Шероховатость обеспечивается путем обработки ее рабочей поверхности капроновой щеткой или брезентовой лентой.

Плиты армируются в продольном направлении напрягаемой арматурой из стержневой арматурной стали классов  $A_T - V$ ,  $B_T - IV$ ,  $A - V$ ,  $A - IV$ , и в поперечном направлении – ненапрягаемой арматурой из стержневой стали классов  $A - III$  и  $A - II$ , а также арматурной проволоки класса  $B_p - I$  или  $B - I$ .

Плиты изготавливают из бетона марок по прочности на растяжение при изгибе  $R_{рн} 45$  и класса по прочности на сжатие  $B 25$ . При этом фактическая прочность на сжатие должна быть не менее 29,4 МПа.

### ***Допуски***

По геометрическим размерам плиты типа ПАГ составляют:

- по длине  $\pm 6$  (5) мм;
- по ширине  $\pm 5$  мм;
- по толщине  $\pm 5$  (3) мм;
- отклонение по прямоугольности профиля поверхности и боковых граней плиты в любом ее сечении по длине 2 м не должно превышать 3 мм;
- отклонение от прямолинейности боковых граней на всю длину плиты не должно быть более 5 мм, а на всю ширину – 3 мм;
- отклонение от плоскости плит не должно превышать 5 мм.

Рабочая поверхность плит не должна иметь трещин и шелушения. Усадочные и технологические трещины допускаются только на нерабочей поверхности и боковых гранях плит 1-й категории качества. На плитах высшей категории качества трещины не допускаются.

### ***Хранение***

Плиты хранят в штабелях по партиям. В штабель укладывается не более десяти плит по высоте. Штабель располагают на уплотненном и выровненном основании по деревянным прокладкам.

При хранении в штабелях и транспортировании плиты укладывают по прокладкам не менее 20 мм, располагаемым строго одна над другой на расстоянии 1 м от торца плит.

Для условий строительства автомобильных дорог в нефтепромысловых районах Западной Сибири по аналогии с плитой ПАГ разработаны и нашли применение плиты ***ПДН – плита дорожная напряженная*** и ***ПДО – плита дорожная обыкновенная***.

Геометрические размеры их составляют:  $600 \times 200 \times 14$  см.

Для городского строительства разработаны и применяются основные типы сборных железобетонных плит с предварительно напряженной и обыч-

ной арматурой *ПДК* – плита дорожная квадратная, *ПДП* – плита дорожная прямоугольная, *ПДШ* – плита дорожная шестиугольная. Марки бетона для плит дорожных покрытий не должны быть ниже М 300 и  $R_{\text{пр}} 40$ .

### ***Технологические режимы***

Долговечность бетона для дорожных и аэродромных покрытий, а следовательно, качество и срок службы сборных покрытий в значительной степени зависят от технологии изготовления изделий на заводах ЖБК. В связи с этим для изготовления плит рекомендуются мягкие режимы пропаривания. В частности, предварительная выдержка изделий перед тепловой обработкой рекомендуется не менее 4 ч, скорость подъема температуры в пропарочной камере – не выше 15 °С/ч, скорость снижения температуры – не более 20 °С/ч, температура изотермического прогрева – не выше 70 °С, длительность прогрева около 6 – 10 ч, влажность паровоздушной среды в пропарочной камере должна быть не менее 98 % [2, 6].

## ***Лекция 42. АРМАТУРА***

Арматурная сталь применяется для армирования плит монолитных и сборных армо- и железобетонных покрытий автомобильных дорог и аэродромов, а также для изготовления штырей деформационных швов сжатия, расширения и коробления.

Для армирования железобетонных конструкций применяют горячекатаную сталь круглого и периодического профиля.

По номенклатуре арматурные стали разделяют на стержневую и проволочную, которые относятся соответственно к классам А и В.

По механическим свойствам арматурную стержневую сталь делят на восемь классов. Стержни арматурной стали А – I выпускаются круглыми и гладкими, а остальных классов – периодического профиля.

Классы дополняются индексами, указывающими на особые свойства, назначение и способ изготовления арматуры.

Например, термически или термомеханически обработанная стержневая арматурная сталь обозначается  $A_{\text{т}}$ . Сталь для конструкций, используемых в северных районах, –  $A_{\text{с}}$ . Цифровой индекс (I – VIII) характеризует прочность арматурной стали; т. е., другими словами, маркировка стали отражает химический состав стали, ее механические свойства, особенности технологии.

Арматурную проволоку изготавливают способом холодного волочения диаметром 3 – 8 мм, гладкого (В) и периодического ( $B_p$ ) профилей. Для ненапрягаемой арматуры применяют проволоку классов В – I и  $B_p$  – I.

### ***Поставка***

Стержневая арматура классов А – I и А – II диаметром до 12 мм и класса А – III диаметром до 10 мм включительно поставляется – в мотках и прутках, остальная в прутках длиной 6 – 12 м, термически упрочненная длиной 5,3 – 13,5 м. Прутки поставляют связкой массой до 1,5 т, перевязанные проволокой или катанкой.

Концы стержневой арматуры окрашивают различной краской, в зависимости от класса арматурной стали (А<sub>т</sub> – III<sub>с</sub> – белой и синей, А<sub>т</sub> – IV – красной и т. д.). Методы испытаний арматурных сталей регламентированы ГОСТ 12004-81 (испытание на растяжение) и ГОСТ 14019-80 (испытание на загиб).

### ***Область применения***

При строительстве монолитных покрытий автомобильных дорог для изготовления штырей деформационных швов используется стержневая арматура из стержней горячекатаной гладкой арматурной стали класса А – I.

При строительстве аэродромных покрытий для армирования швов допускаются также штыри из стали периодического профиля класса А – II. Для армирования дорожных покрытий применяют обычно сварные сетки с продольной рабочей арматурой из стержней горячекатаной стали периодического профиля класса А – II. Армирование аэродромных покрытий осуществляется главным образом стержневой арматурой.

В качестве ненапрягаемой арматуры используют преимущественно горячекатаную арматурную сталь периодического профиля классов А – II и А – III и арматурную проволоку класса В – I. Для монтажной, распределительной и конструкционной арматуры и штырей деформационных швов применяют горячекатаную арматурную сталь класса А – I.

## **ТЕМА. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ**

### ***Лекция 43. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ. КЛАССИФИКАЦИЯ. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ. СВОЙСТВА. ДОБАВКИ***

***Строительным раствором*** называют искусственный строительный каменный материал, полученный при затвердевании рационально подобранной смеси вяжущего, песка и воды.

Отсутствие крупного заполнителя придает строительным растворам некоторые специфические особенности по сравнению с бетонами, например повышенную пластичность.

### ***Область применения***

Строительные растворы предназначены для заполнения швов и связывания штучного материала в бутовой и кирпичной кладке, изготовления декоративных и защитных штукатурок, производства строительных изделий (плиток, кирпича и др.).

### ***Классификация***

1. По функциональному назначению:
  - кладочные;                      - монтажные;
  - штукатурные;                      - специальные (акустические, тампонажные и др.).
2. По виду вяжущих веществ и добавок:
  - цементные;                      - цементно-известковые;
  - известковые;                      - цементно-глинистые.
3. По свойствам вяжущего:
  - воздушные, изготавливаемые с воздушными вяжущими;
  - гидравлические, изготавливаемые с гидравлическими вяжущими.
4. По виду заполнителя:
  - тяжелые, с природными песками плотностью свыше  $1,5 \text{ г/см}^3$ ;
  - легкие, с пористыми заполнителями плотностью менее  $1,5 \text{ г/см}^3$ .
5. По составу:
  - простые, с одним вяжущим (цемент, известь);
  - смешанные, в которые входят 2 – 3 вяжущих.

### ***Технология изготовления***

Технология изготовления строительных растворов на специальных заводах или отдельных растворных узлах состоит из ряда взаимосвязанных операций.

1. Подготовка исходных материалов – просеивание природного песка, домола при необходимости и отсева искусственного песка.
2. Дозирование материалов по массе.

3. Перемешивание отвешенных компонентов до однородного состояния растворной смеси в стационарных или передвижных смесителях (растворомешалках).

Продолжительность перемешивания зависит от вида исходных материалов, но обычно составляет не менее 1 – 1,5 мин, при содержании в смеси высокодисперсных добавок – 3 – 4 мин.

Транспортирование готовой растворной смеси осуществляют с помощью специально оборудованных автоцистерн и самосвалов.

Перед транспортированием (выборочно) и укладкой готовой растворной смеси определяют ее качественные характеристики, в том числе удобоукладываемость по пористому основанию, нерасслаиваемость при транспортировании и хранении, условную вязкость и другие заданные свойства [1].

### ***Свойства***

Методы испытаний строительных растворов изложены в ГОСТ 5802-86.

***Удобоукладываемость*** – способность растворной смеси равномерно укладываться по пористому основанию (кирпичу, бетону, природному камню) тонким слоем.

Если строительный раствор обладает хорошей удобоукладываемостью, то он способен заполнить все поверхностные неровности основания и образовать сплошность сцепления со всей поверхностью. При недостаточной удобоукладываемости смесь распределяется неравномерно и соприкасается, а затем сцепляется с основанием только на отдельных участках. Слой становится неодинаковой плотности и толщины.

С этим свойством связана характеристика его вязкости (в условных единицах). От вязкости зависит способность растворной смеси перемещаться (перекачиваться) по трубам, лоткам и т. п.

От удобоукладываемости также зависит способность растворной смеси наноситься ровным слоем на оштукатуриваемую поверхность с последующим отвердеванием.

Оценивают ***условную вязкость или подвижность смеси*** с помощью стандартного конуса с углом при вершине 30° и массой  $300 \pm 2$  г, который погружается в свежеприготовленный раствор. Подвижность выбирают в зависимости от условий применения раствора: для кирпичной кладки – 9 – 13 см, при виброуплотнении – 1 – 3 см.



Количество воды в растворе не должно превышать определенного предела, выше которого происходит расслоение.

**Расслаиваемость** характеризует неоднородность смеси и определяется по разности объемов погруженного конуса в образцы уплотненной в сосуде вибрированием растворной смеси, отобранной из верхней и нижней частей сосуда.

Если из смеси легко отделяется вода, она становится малоподвижной, особенно при транспортировании.

**Водоудерживающая способность** характеризуется количеством воды, которая удерживается в растворе минеральными зернами.

Качество отвердевшего раствора определяется в основном прочностными, деформационными свойствами и долговечностью.

**Долговечность** строительного раствора – его способность сохранять или постепенно упрочнять структуру в эксплуатационных условиях. Условно ее можно определить по испытаниям образцов на морозостойкость и стойкость при увлажнении и высушивании.

**Морозостойкость** устанавливают испытанием образцов-кубов с размером ребер 7,07 см путем циклического замораживания и оттаивания. По морозостойкости строительные растворы подразделяют на следующие марки: F 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200, 300. На величину морозостойкости оказывают влияние вид вяжущего, водовязущее отношение, качество песка, условия твердения, пористость слоя и основания.

**Прочность** строительных растворов характеризуется *маркой*, которую устанавливают с помощью испытаний образцов-кубов с размером ребер 7,07 см из смеси рабочей консистенции, отвердевавшей на пористом или плотном основании при температуре 15 – 20 °С и испытанных в возрасте 28 суток. Строительные растворы имеют следующие показатели по пределу прочности при сжатии – марки М 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200.

Прочность затвердевшего раствора зависит от активности вяжущего и цементно-водного отношения.

По исследованиям профессора Н. А. Попова, прочность портландцементных растворов в возрасте 28 суток можно выразить эмпирической формулой

$$R_p = 0,40 R_{ц} (Ц/В - 0,30),$$

где  $R_{ц}$  – активность цемента; Ц/В – цементоводное отношение.

Как правило, состав раствора 1 : 3 – 1 : 4, однако на практике применяют более «жирные» растворы (1 : 2).

В растворах одного и того же состава, но с разным водосодержанием после отсасывания воды пористым основанием остается приблизительно одно и то же количество воды, поэтому прочность отвердевшего раствора можно выразить в зависимости не от Ц/В отношения, а от расхода цемента

$$R_p = K R_{ц} (\text{Ц} - 0,05) + 4,$$

где  $K$  – коэффициент, равный для крупного песка – 2,2, для среднего песка – 1,8, для мелкого – 1,4;  $\text{Ц}$  – расход цемента на  $1 \text{ м}^3$  песка, т.

Между всеми свойствами, связанными со структурой, имеется взаимообусловленность. Эта закономерность полностью относится к строительным растворам. На них распространяется общая формула прочности

$$R (C/\Phi)^n = \text{const.}$$

Закон прочности оптимальных структур графически представляется в виде гиперболической кривой. Закон створа – общий метод проектирования оптимального состава.

### ***Добавки***

Для удобоукладываемости и повышения водоудерживающей способности в цементные растворы вводят **пластификаторы**, которые могут быть неорганическими веществами – гипс, известковое и гипсовое тесто или органическими, в частности поверхностно-активными. Они позволяют понижать расход воды в строительном растворе, улучшают его морозостойкость и т. п. К такого рода добавкам относятся мылонафт, ССБ, СДБ, абиеатат натрия, подмыльный щелок и др.

Раствор с пластификаторами характеризуется хорошей сцепляемостью с обработанной поверхностью, отсутствием деформаций, связанных с объемными изменениями при твердении раствора и под влиянием температурных колебаний, равномерностью деформаций после затвердевания, высокой прочностью.

В зимнее время добавляют противоморозные добавки: поташ в количестве 10 – 15 % от массы воды затворения, нитрит натрия – до 5 – 10 %, а также аммиачную воду, нитрат кальция, карбонат натрия и др.

Хорошие показатели получаются с добавкой ацетата натрия, при которой кладочные растворы интенсивно набирают прочность при температуре до  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Оптимальный расход этой добавки составляет 4 % от массы цемента.

Противоморозные добавки снижают температуру замерзания жидкой среды растворной смеси, участвуют в процессе гидратации вяжущего вещества [5].

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Бетоны. Определение, классификация. Преимущества и недостатки бетона.
2. Назначение компонентов бетона.
3. Основные свойства бетонных смесей.
4. Структура бетона.
5. Состав тяжелых бетонов. Классы, марки.
6. Основные показатели качества тяжелых бетонов.
7. Коррозия бетонов.
8. Требования к материалам для бетонов: цемент, вода, добавки.
9. Требования к материалам для бетонов – к мелкому заполнителю.
10. Требования к материалам для бетонов – к крупному заполнителю.
11. Проектирование бетона.
12. Расчет состава бетона.
13. Приготовление, транспортирование и укладка бетонной смеси.
14. Уход за твердеющим бетоном.
15. Производство бетонных работ в зимнее время.
16. Свойства дорожных бетонов.
17. Свойства дорожных бетонов и бетонных смесей.
18. Требования к материалам для дорожных бетонов: цемент и мелкий заполнитель.
19. Требования к материалам для дорожных бетонов: вода и крупный заполнитель.
20. Плиты для покрытий аэродромов и автомобильных дорог.
21. Арматура. Классификация. Индексы, классы.
22. Строительные растворы. Определение, классификация, марки, область применения, технология приготовления.
23. Свойства строительных растворов.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### *Перечень действующих нормативов*

Индекс документа	Наименование документа	Примечание
ГОСТ 22688-77	Известь строительная. Методы испытаний	
ГОСТ 9179-77	Известь строительная. Технические условия	
ГОСТ 125-79	Вяжущие гипсовые. Технические условия	СТ СЭВ 826-77
ГОСТ 4013-82	Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов	
ГОСТ 31376-2008	Смеси сухие строительные на гипсовом вяжущем. Методы испытаний	
ГОСТ 26871-86	Материалы вяжущие гипсовые. Правила приемки. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение	
ГОСТ 23789-79	Вяжущие гипсовые. Методы испытаний	СТ СЭВ 826-77
ГОСТ 23558-94	Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия	С изменениями № 1, 2
ГОСТ 31377-2008	Смеси сухие строительные штукатурные на гипсовом вяжущем. Технические условия	
ГОСТ 31386-2008	Смеси сухие строительные клеевые на гипсовом вяжущем. Технические условия	
ГОСТ 31387-2008	Смеси сухие строительные шпатлевочные на гипсовом вяжущем. Технические условия	
ГОСТ 4.204-79	Материалы вяжущие: известь, гипс и вещества вяжущие на их основе. Номенклатура показателей	СПКП Строительство
ГОСТ 10178-85	Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия	С изменениями № 1, 2
ГОСТ 15825-80	Портландцемент цветной. Технические условия	
ГОСТ 965-89	Портландцементы белые. Технические условия	СТ СЭВ 6086-87
ГОСТ 1581-80	Портландцементы тампонажные. Технические условия	
ГОСТ 25094-94	Добавки активные минеральные для цементов. Методы испытаний	
ГОСТ 310.4-81	Цемент. Методы определения предельной прочности при изгибе и сжатии	
ГОСТ 310.1-76	Цемент. Методы испытаний. Общие положения	
ГОСТ 31357-2007	Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия	

*Продолжение*

Индекс документа	Наименование документа	Примечание
ГОСТ 5802-86	Растворы строительные. Методы испытаний	
ГОСТ 28013-98	Растворы строительные. Общие технические условия	С изменением № 1
ГОСТ 4.233-86	Растворы строительные. Номенклатура показателей	СПКП Строительство
ГОСТ 24211-2008	Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия	
ГОСТ 30459-2008	Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности	
ГОСТ 25328-82	Цемент для строительных растворов. Технические условия	
ГОСТ 23732-79	Вода для бетонов и растворов. Технические условия	
ГОСТ 26633-91	Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия	С изменениями № 1, 2
ГОСТ 25592-91	Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия	С изменением № 1
ГОСТ 7473-94	Смеси бетонные. Технические условия	
ГОСТ 25485-89	Бетоны ячеистые. Технические условия	
ГОСТ 26644-85	Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия	С изменением № 1
ГОСТ 5578-85	Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия	
ГОСТ 31359-2007	Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия	
ГОСТ 13015-2003	Изделия железобетонные и бетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения	
ГОСТ 22685-89	Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия	
ГОСТ 8267-93	Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия	С изменениями № 1 – 4
ГОСТ 17624-87	Бетон. Ультразвуковой метод определения прочности	
ГОСТ 10180-90	Бетон. Методы определения прочности по контрольным образцам	
ГОСТ 20910-90	Бетоны жаростойкие. Технические условия	
ГОСТ 25820-2000	Бетоны легкие. Технические условия	

*Окончание*

Индекс документа	Наименование документа	Примечание
ГОСТ 17608-91	Плиты бетонные тротуарные. Технические условия	С изменением № 1
ГОСТ 25214-82	Бетон силикатный плотный. Технические условия	
ГОСТ 25246-82	Бетоны химически стойкие. Технические условия	
ГОСТ 10922-90	Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия	
ГОСТ 5781-82	Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия	С изменениями № 1 – 5
ГОСТ 6727-80	Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия	С изменениями № 1 – 4
ГОСТ 10884-94	Сталь арматурная, термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия	

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Горчаков, Г. И. Строительные материалы : учебник / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. – М. : Стройиздат, 1986. – 686 с.
2. Материалы и изделия для строительства автомобильных дорог : справочник / под ред. А. В. Горелышева. – М. : Транспорт, 1986. – 288 с.
3. Волков, М. И. Дорожно-строительные материалы : учебник / М. И. Волков, И. В. Королев, И. М. Борщ. – М. : Транспорт, 1988. – 522 с.
4. История строительного материаловедения и развитие строительных материалов и изделий : учебник / под ред. И. А. Рыбьева. – М. : Мин. образования, 2001. – 178 с.
5. Грушко, И. М. Испытания дорожно-строительных материалов : лабораторный практикум / И. М. Грушко [и др.]. – М. : Транспорт, 1985. – 199 с.
6. Справочная энциклопедия дорожника. Т. 3. Строительные материалы / под ред. Н. В. Быстрова. – М. : ФГУП Информавтодор, 2005. – 466 с. – ISBN 5-900121-28-3.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>РАЗДЕЛ 1. СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	3
Тема. <b>Вводная</b> .....	3
<i>Лекция 1.</i> Природные и искусственные каменные материалы.....	3
<i>Лекция 2.</i> Внешние механические воздействия и физико-химические факторы окружающей среды.....	4
Тема. <b>Основные свойства дорожно-строительных материалов</b> .....	5
<i>Лекция 3.</i> Общие сведения .....	5
<i>Лекция 4.</i> Механические свойства материалов .....	6
<i>Лекция 5.</i> Физические свойства материалов .....	10
<i>Лекция 6.</i> Химические свойства материалов .....	14
<i>Лекция 7.</i> Технологические свойства материалов .....	15
<i>Лекция 8.</i> Эксплуатационные свойства материалов .....	16
<b>Контрольные вопросы</b> .....	17
<b>РАЗДЕЛ 2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b> .....	18
Тема. <b>Классификация. Добыча и переработка каменных материалов</b> .....	18
<i>Лекция 9.</i> Скальные горные породы .....	18
<i>Лекция 10.</i> Обломочные горные породы .....	19
<i>Лекция 11.</i> Добыча и переработка горных пород .....	21
Тема. <b>Свойства природных каменных материалов и требования к ним</b> .....	25
<i>Лекция 12.</i> Требования к щебню (гравию) .....	25
<i>Лекция 13.</i> Требования к песку .....	28
<b>Контрольные вопросы</b> .....	30
<b>РАЗДЕЛ 3. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ</b> .....	31
<i>Лекция 14.</i> Воздушная строительная известь.....	31
<i>Лекция 15.</i> Растворимое (жидкое) стекло.....	35
<i>Лекция 16.</i> Гипсовые вяжущие .....	36
<i>Лекция 17.</i> Магнезиальные вяжущие .....	38
Тема. <b>Портландцемент</b> .....	39

<i>Лекция 18.</i> Химический и минералогический состав портландцемента. Модули портландцементного клинкера .....	39
<i>Лекция 19.</i> Производство портландцемента .....	42
<i>Лекция 20.</i> Твердение портландцемента .....	46
<i>Лекция 21.</i> Коррозия цементного камня .....	49
<i>Лекция 22.</i> Свойства портландцемента .....	51
<i>Лекция 23.</i> Добавки в портландцемент .....	53
<b>Тема. Специальные портландцементы</b> .....	56
<i>Лекция 24.</i> Быстротвердеющие портландцементы .....	56
<i>Лекция 25.</i> Портландцементы с ПАВ .....	57
<i>Лекция 26.</i> Специальные портландцементы .....	59
<i>Лекция 27.</i> Шлакопортландцемент .....	61
<i>Лекция 28.</i> Портландцементы для дорожных и аэродромных оснований и покрытий .....	62
<b>Контрольные вопросы</b> .....	64
<b>РАЗДЕЛ 4. ЦЕМЕНТОБЕТОН И ЕГО РАЗНОВИДНОСТИ</b> .....	65
<b>Тема. Общие сведения</b> .....	65
<i>Лекция 29.</i> Классификация бетонов .....	65
<i>Лекция 30.</i> Назначение компонентов бетона .....	67
<i>Лекция 31.</i> Структура бетона .....	70
<b>Тема. Тяжелый (обычный) бетон</b> .....	71
<i>Лекция 32.</i> Показатели качества бетона .....	71
<i>Лекция 33.</i> Коррозия бетона .....	76
<b>Тема. Проектирование бетона</b> .....	78
<i>Лекция 34.</i> Требования к исходным материалам для бетона .....	78
<i>Лекция 35.</i> Проектирование бетона .....	82
<i>Лекция 36.</i> Расчет состава бетона .....	84
<b>Тема. Технология бетонных работ</b> .....	87
<i>Лекция 37.</i> Приготовление, транспортирование и укладка бетонной смеси .....	87
<i>Лекция 38.</i> Уход за твердеющим бетоном .....	89
<b>Тема. Дорожный бетон</b> .....	92
<i>Лекция 39.</i> Классификация. Требования к исходным материалам .....	92



<i>Лекция 40.</i> Свойства дорожных бетонов и бетонных смесей, требования к ним .....	95
<b>Тема. Сборный бетон и железобетон</b> .....	98
<i>Лекция 41.</i> Плиты для покрытий автомобильных дорог и аэродромов .....	98
<i>Лекция 42.</i> Арматура .....	101
<b>Тема. Строительные растворы</b> .....	102
<i>Лекция 43.</i> Область применения строительных растворов. Классификация. Технология изготовления. Свойства. Добавки.....	102
<b>Контрольные вопросы</b> .....	107
<b>Приложение</b> .....	108
<b>Библиографический список</b> .....	110

*Учебное издание*

ПРОВАТОРОВА Галина Владимировна

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Курс лекций по дисциплинам «Материаловедение»,  
«Технология конструкционных материалов»,  
«Строительные материалы»

Часть 1

Подписано в печать 30.09.11.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 6,74. Тираж 75 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.