



Михеев П.А.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

курс лекций

для студентов специальности

**08.05.01 – Строительство уникальных зданий и сооружений,
специализация: «Строительство гидротехнических сооружений
повышенной ответственности»**



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ – МСХА имени К.А. Тимирязева**

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

курс лекций

для студентов специальности

08.05.01 – Строительство уникальных зданий и сооружений,
специализация: «Строительство гидротехнических сооружений
повышенной ответственности»

часть 1

Москва
Новочеркасск
Лик
2020

УДК 691
ББК 38.3
М 695

Рецензент:

Ханов Н.В., доктор технических наук, профессор

Михеев, П.А.

М 695 Строительные материалы [Текст]: курс лекций для студентов специальности 08.05.01 – Строительство уникальных зданий и сооружений, специализация: «Строительство гидротехнических сооружений повышенной ответственности». Часть 1 / П.А. Михеев; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева – Москва, Новочеркасск: Лик, 2020. – 139 с.

ISBN 978-5-907158-48-1

Курс лекций соответствует содержанию дисциплины «Строительные материалы» рабочей программы дисциплины, изучаемой студентами во 2 семестре (первая часть). Строительные материалы являются основой промышленного, гражданского, гидротехнического, сельского строительства, поэтому изучение свойств, особенностей получения и применения строительных материалов является важным этапом подготовки строителя.

Курс лекций предназначен для студентов специальности 08.05.01 – Строительство уникальных зданий и сооружений, специализация: «Строительство гидротехнических сооружений повышенной ответственности»

УДК 691
ББК 38.3

ISBN

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2020
© Михеев П.А., 2020

Введение

Дисциплина «Строительные материалы» является одной из первых профессиональных дисциплин, которая изучается на первом курсе, формируя базу для последующих архитектурно-строительных, технологических, организационно-экономических дисциплин в учебном плане гидростроителя.

Строительные материалы являются основой любого строительства – промышленного, гражданского, гидротехнического, сельского и др., поэтому изучение, получение и применение строительных материалов является важным этапом подготовки строителя. Современная наука о строительных материалах включает не только комплекс обширных знаний по каждому материалу, но и систему общих принципов, законов, понятий во взаимосвязи свойств, которые при определенных условиях, для большинства материалов, подобны между собой. В этой связи проектирование строительных материалов с заранее заданными свойствами становится реальной задачей.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений и учебного плана по данной специальности, дисциплина «Строительные материалы» изучается студентами во 2 и 3 семестрах. Рабочей программой дисциплины предусматривается изучение студентами во 2 семестре (первая часть) природных каменных материалов и материалов на основе минеральных вяжущих веществ. Программа 3 семестра (вторая часть) содержит вопросы по изучению керамических, металлических материалов и материалов из дерева, а также строительных материалов на основе органических вяжущих.

Базовым по дисциплине является учебник «Строительные материалы» под редакцией проф. Белова В.В., подготовленный авторским коллективом НИУ Московский государственный строительный университет. Однако объем материала, представленный в данном издании, далеко выходящий за временные рамки изучаемой дисциплины, потребовал его систематизации в соответствии с рабочей программой и тематикой, по которой ведется подготовка специалистов строителей в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Данные обстоятельства послужили основанием для подготовки настоящего курса лекций.

Содержательную основу первой части курса лекций и последовательность изложения материала выполнено в соответствии с рабочей программой дисциплины, разработанной на кафедре «Сельскохозяйственное строительство и экспертиза объектов недвижимости». Список литературы включает учебно-методические и нормативные издания, отражающие последние достижения отечественного и зарубежного строительного материаловедения.

Курс лекций предназначен для студентов специальности 08.05.01 – Строительство уникальных зданий и сооружений, специализация «Строительство гидротехнических сооружений повышенной ответственности»

Составитель

ЛЕКЦИЯ 1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вопросы:

- 1.1. Основные понятия, общие сведения о строительных материалах.
- 1.2. Классификация строительных материалов и изделий.
- 1.3. Строение и основные свойства строительных материалов. Физические, механические, химические, технологические свойства.

1.1. Основные понятия, общие сведения о строительных материалах

Любое здание и сооружение состоит из одинаковых по назначению частей: фундамента, каркаса и ограждающих конструкций (стен, перекрытий, кровли). Ни одно здание или сооружение невозможно спроектировать, построить и эксплуатировать без использования строительных материалов с соответствующими строительно-техническими свойствами и качествами.

Свойство – характеристика материала, проявляющаяся в процессе его обработки, применении или эксплуатации.

Качество – совокупность свойств материала, обуславливающих его способность удовлетворять определённым требованиям в соответствии с его назначением.

Наука строительное материаловедение изучает взаимосвязь строения, основных свойств и структурообразования композиционных материалов. Общие принципы механических, химических, физико-химических, тепловых и других воздействий, которым подвергается исходное сырьё для получения различных строительных материалов и изделий рассматриваются в технологии строительных материалов.

Строительная отрасль является самой материалоемкой сферой общественного производства, в общей стоимости строительных конструкций на долю строительных материалов приходится порядка 50-60%. Ежегодно в стране для получения строительных материалов добывается и перерабатывается свыше миллиарда тонн сырьевых ресурсов, потребляется колоссальное количество энергетических и материальных ресурсов, при этом строительство – одна из самых экологически опасных сфер деятельности человека.

Проблема выбора и эффективного использования строительных материалов и изделий является актуальной. На стоимость строительных материалов большое влияние оказывают транспортные затраты. Грузовой железнодорожный транспорт примерно на четверть, а речной – более чем на половину нагружен перевозкой строительных материалов.

Одновременно с этим промышленные предприятия различных отраслей несут большие затраты на удаление, складирование и утилизацию сотен миллионов тонн производственных отходов. Рациональное использование промышленных отходов для получения качественных строительных материалов и изделий позволяет комплексно решать задачи снижения стоимости строительства и улучшения экологического состояния окружающей среды.

1.2. Классификация строительных материалов и изделий

Разнообразие строительных материалов вызвало необходимость их классификации по различным признакам: по назначению, виду исходного сырья, технологии производства, структурным особенностям и др. При этом различают природные и искусственные материалы.

Природные строительные материалы добывают непосредственно из недр земли или получают путем переработки лесных массивов в «деловую древесину». Этим материалам придают определенную форму и размеры, не изменяя их внутреннего строения и состава. Из числа природных материалов, в строительстве наиболее широко используют каменные и лесные материалы. В сравнительно небольших количествах находят применение органические природные материалы – битум, асфальт, озокерит, казеин, солома, камыш, торф, лузга и другие местные материалы.

Искусственные строительные материалы и изделия производят на специализированных предприятиях и заводах строительной индустрии.

Классификации строительных материалов по их основному назначению, структурным признакам и химическому составу представлены на рисунках 1.1–1.3.



Рисунок 1.1 – Классификация строительных материалов по назначению

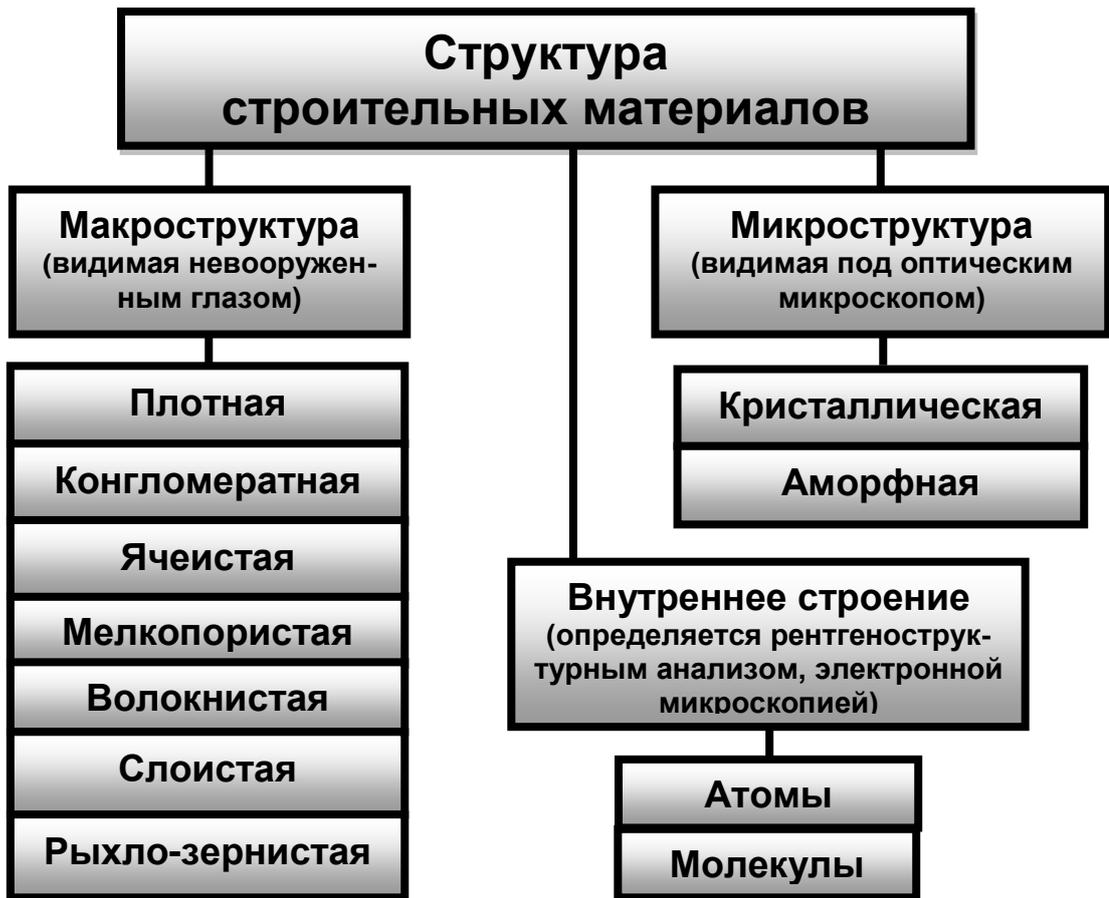


Рисунок 1.2 – Классификация строительных материалов по структуре

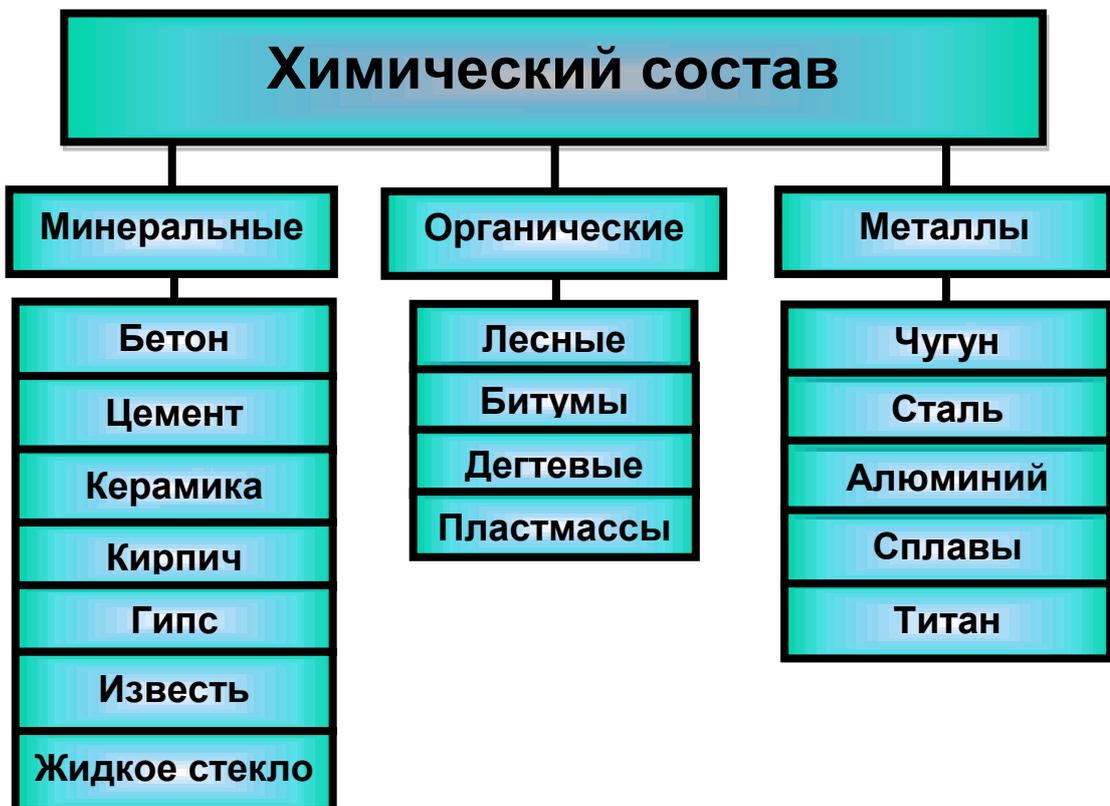


Рисунок 1.3 – Классификация строительных материалов по химическому составу

1.3. Строение и основные свойства строительных материалов. Физические, механические, химические, технологические свойства

И так, свойствами называют способность материалов определенным образом реагировать на воздействие отдельных или совокупных внешних или внутренних силовых, тепловых и других факторов. Для понимания природы свойств материала необходимо знание его состава и строения. Различают химический, минеральный и фазовый состав материала.

Химический состав, указывает на содержание (%) оксидов в материале, позволяет судить о прочности, огнестойкости, водо- и коррозионной стойкости и других технических свойствах.

Минеральный состав свидетельствует о содержании тех или иных минералов в вяжущих веществах или в каменных материалах, в значительной степени определяющих технические свойства материалов.

Фазовый состав указывает на соотношение между твёрдой, жидкой и газообразной фазой в материале и его способность сопротивляться внутрифазовым переходам воды, в первую очередь при циклическом замораживании и оттаивании.

Важное, значение при оценке свойств материала оказывает его строение, рассматриваемое на разных уровнях.

Макроструктура – строение вещества, видимое невооруженным глазом. Кристаллическая (с определённой температурой плавления) и аморфная (с постепенным плавлением в некотором температурном интервале) макро-структура.

Микроструктура – строение материала, видимое при большом увеличении в оптическом микроскопе. Микроструктура может быть кристаллическая (с соответствующей температурой плавления) и аморфная (с медленным, постепенным плавлением в некотором температурном диапазоне).

Внутреннее строение – оцениваемое на молекулярном уровне методами электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа и т.п., определяет прочность, твёрдость, тугоплавкость и другие важные свойства.

Свойства материалов принято разделять на: физические, химические и физико-химические, механические, технологические и специальные.

Физические свойства характеризуют строения, структурные особенности и отношение материала к протеканию в нём физических процессов.

К параметрам состояния относятся:

- *истинная плотность* (ρ , г/см³) – масса единицы объёма материала в абсолютно плотном состоянии (без пор, трещин, капилляров);
- *средняя плотность* ($\rho_{\text{ср}}$, кг/м³) – масса единицы объёма материала в естественном состоянии (с порами);
- *насыпная плотность* ($\rho_{\text{н}}$, кг/м³) – масса единицы объёма сыпучих или волокнистых материалов (цемента, песка, минеральной ваты, щебня и т.д.).

К структурным параметрам:

- *пористость* (Π , %) – степень заполнения объёма материала порами;
- *пустотность* (Π_3 , %) – степень заполнения объёма зернистого, порошкооб-

разного или волокнистого материала межзерновыми пустотами.

Гидрофизические свойства – это группа свойств, которые характеризуют отношение материала к статическим или циклическим воздействиям воды (водяного пара).

Гигроскопичность – способность материала поглощать водяной пар из воздуха и конденсировать его в своих порах и капиллярах. Гигроскопичные строительные материалы (теплоизоляционные, лесные и др.), как правило, требуют специальной защиты от увлажнения и связанного с этим ухудшения свойств.

Водопоглощение (B) – способность пористых материалов (бетон, кирпич и др.) впитывать и удерживать воду.

Различают водопоглощение по объёму

$$B_o = (m_2 - m_1) \cdot 100 / V,$$

где m_2 ; m_1 – масса соответственно после и до насыщения материала водой;
 V – объём образца;

и водопоглощение по массе

$$(B_m = (m_2 - m_1) \cdot 100 / m_1, \%).$$

Водопоглощение по объёму обычно меньше величины пористости, т.к. часть пор недоступна для воды, и всегда меньше 100%. Водопоглощение лёгких пористых материалов по массе может быть и больше 100%.

Водостойкость – характеризуется коэффициентом размягчения, представляющим отношение прочности насыщенного водой материала R_g к прочности сухого материала R_c , ($K_p = R_g / R_c$). Коэффициент размягчения K_p может быть в пределах от 0 (размокающие глины) до 1 (металлы, стекло и др.). Строительные материалы считают неводостойкими, если коэффициент размягчения меньше 0,8.

Водопроницаемость (W) – свойство материала пропускать воду под давлением, характеризуется количеством воды, прошедшим в течение 1ч через площади поверхности материала в 1 см^2 при заданном давлении (по стандарту в зависимости от вида материала). По своему назначению гидротехнические бетоны, кровельные, гидроизоляционные материалы должны быть в определённой мере водонепроницаемыми.

Водонепроницаемость бетона характеризуется маркой водонепроницаемости, имеющей буквенное и цифровое обозначение, где цифра характеризует величину гидростатического давления, при котором образец при стандартных испытаниях не пропускает воду. Например, марки $W2$, $W4$, ... $W12$ означает, что бетон не пропускает воду при давлении соответственно 2, 4 или 12 кг/см^2 (атмосфер).

Морозостойкость (F) – способность материала насыщенного водой выдерживать многократное (циклическое) попеременное замораживание и оттаивание. Марка морозостойкости – это число циклов замораживания и оттаивания при стандартных испытаниях выдерживаемое материалом. Например, марки по морозостойкости $F25$, $F50$, ... $F500$ – соответственно 25, 50 или 500 циклов.

Теплофизические свойства, к ним относятся теплоёмкость, теплопроводность, огнестойкость, температурное расширение.

Теплоёмкость – свойство материала поглощать при нагревании определённое количество тепла. Характеризуется удельной теплоёмкостью (C , кДж/кг град), выражающей количество тепла, необходимое для нагревания 1 кг материала на 1 градус.

Теплопроводность – свойство материала передавать тепло через свою толщу. Зависит от пористости, влажности, структуры, средней плотности материала. Характеризуется коэффициентом теплопроводности (λ , Вт/м·град), выражающим количество тепла, проходящего через стену толщиной 1 м, площадью 1 м² за 1 ч при разности температур на противоположных поверхностях стены в 1 градус.

Огнестойкость – способность материала сопротивляться действию огня при пожаре в течение определённого времени. Зависит от воспламеняемости материала и его способности гореть. По огнестойкости материалы различают – несгораемые, трудносгораемые и сгораемые.

Несгораемые – под воздействием огня не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются (асбест, бетон, кирпич и др.)

Трудносгораемые – с трудом воспламеняются, тлеют и обугливаются. После удаления источника огня горение таких материалов прекращается (асфальтобетон, фибролит, пропитанная антипиренами древесина).

Сгораемые – под действием огня воспламеняются и продолжают гореть или тлеть после удаления источника огня (древесина, рубероид, пластмассы и др.).

Температурное расширение – свойство материала увеличиваться в размерах при нагревании и сокращаться при охлаждении, которое характеризуется коэффициентом линейного температурного расширения. При сезонном изменении температуры окружающей среды на 50° температурные деформации бетона, стали, гранита, древесины составляют 0,5-1 мм/м. Из-за этого сооружения большой протяжённости могут разрушиться, если не предусматривать специальных мер (температурно-деформационных швов и т.п.)

Химические и физико-химические свойства позволяют оценивать материалы по способности противостоять химическим воздействиям и процессам, например, коррозии.

Химические свойства выражают особенности химического состава материала в условиях инертной окружающей среды, а также степень активности материала к химическому взаимодействию с реагентом внешней среды. Постепенное или быстрое разрушение материала под влиянием химических и электрохимических процессов называется коррозией. Химическая активность проявляется и в способности вяжущих материалов и бетонов на их основе затвердевать при взаимодействии с водой (твердение цемента, гипса и др.)

Физико-химические свойства выражают влияние физического состояния материала на протекание в нём химических процессов и поверхностных явлений.

Удельная поверхность ($S_{уд}$), см²/г тонкодисперсных (порошко-

образных) материалов характеризует суммарную поверхность частиц 1 г порошка. Чем выше удельная поверхность, тем больше реакционная способность материала.

Гидрофобность – способность материала несмачиваться водой. К гидрофобным веществам относятся жиры, некоторые полимеры и др. Гидрофобизация строительных материалов повышает их противокоррозионную стойкость, морозостойкость, водонепроницаемость и др.

Адсорбция – способность материалов поглощать вещества из газовой или жидкой среды. Адсорбция лежит в основе многих методов хроматографии (разделение и анализ смесей, изучение поровой микроструктуры и т.д.) при исследовании различных материалов.

Адгезия – свойство характеризующее сцепление поверхностей разнородных материалов, используемое при создании гальванических и лакокрасочных покрытий, склеивании материалов, а также при получении композитов типа бетонов.

Механические свойства, характеризующие способность материала сопротивляться напряжениям, возникающим от силовых, тепловых и других воздействий разделяют на деформативные и прочностные.

Деформативные свойства – характеризуют способность материала к изменению формы или размеров при неизменности его массы. Главнейшие виды деформаций – растяжение, сжатие, изгиб, кручение и сдвиг, могут быть обратимыми и необратимыми в зависимости от свойств материалов.

Упругость – свойство материала восстанавливать первоначальную форму после снятия нагрузки. Упругая деформация полностью исчезает после прекращения действия внешних сил, поэтому называется обратимой.

Пластичность – это способность материала изменять форму и размеры, под действием внешних сил, не разрушаясь. Полученная форма сохраняется после прекращения действия внешних сил. Остаточная пластическая деформация является необратимой, так как первоначальная форма в этом случае не может восстановиться самостоятельно.

Ползучесть (крип) – пластическая деформация, медленно нарастающая в течение длительного времени без увеличения значений действующих постоянных нагрузок.

Помимо материалов упругих (сталь, резина и др.) и пластичных (дерево, глиняное тесто, битум и др.) имеются материалы хрупкие (бетон, стекло и др.).

Хрупкость – свойство материала разрушаться без предварительной деформации, при достижении действующих усилий величинам разрушающих нагрузок. Хрупкие материалы плохо сопротивляются удару.

Прочностные свойства – характеризуют способность материалов сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, вызванных внешними силами или другими факторами, например, неравномерное нагружение. Прочность материала оценивают пределом прочности R , определённым при данном виде деформации. Например, для хрупких материалов основной прочностной характеристикой является прочность при сжатии.

Предел прочности при сжатии, R_c (МПа) равен частному от деления разрушающей силы сжатия $P_{разр}$ на площадь A поперечного сечения испытуемого образца (куба, цилиндра, призмы)

$$R_c = \frac{P_{разр}}{A}.$$

Предел прочности при растяжении R_p (МПа) определяется по аналогичной формуле при испытании образцов на осевое растяжение. В зависимости от соотношения R_p/R_c все материалы условно делятся на три группы:

$R_p \geq R_c$ (волокнистые – древесина вдоль волокон и др.);

$R_p \approx R_c$ (сталь и др.);

$R_p \leq R_c$ (хрупкие – природные камни, бетон, кирпич и др.).

Предел прочности при изгибе R_u (МПа) определяют путём испытания образцов материала в виде опытных балочек на двух опорах. Предел прочности при одном грузе для балочек прямоугольного сечения определяют по формуле:

$$R_u = \frac{M}{W} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{разр} \cdot l}{b \cdot h^2},$$

где M – изгибающий момент;

W – момент сопротивления;

$P_{разр}$ – разрушающая сила при изгибе;

b и h – ширина и высота поперечного сечения образца;

l – расстояние между опорами опытной балочки (пролёт).

Ударная вязкость (сопротивление удару) характеризуется количеством работы, затраченной на разрушение стандартного образца, отнесённой к единице объёма (Дж/м³) или площади поперечного сечения (Дж/м²). Сопротивление удару важно для материалов, используемых в полах, дорожных покрытиях, фундаментах станков и т.п. Для испытаний на удар применяют специальные приборы – копры с падающими грузами.

Эксплуатационно-механические свойства – твёрдость, истираемость, износостойкость материалов, проявляемы в процессе эксплуатации которые наряду с деформативными и прочностными показателями характеризуют механических свойств материалов

Твёрдость – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого более твёрдого тела. Это свойство не находится в прямой зависимости от прочности: например, стали разных марок по прочности могут обладать одинаковой твёрдостью.

Твёрдость древесины, металлов, бетона и некоторых других материалов определяют разными приборами, работающими по принципу вдавливания наконечника в виде шарика, конуса или пирамиды. По результатам испытаний вычисляют показатель твёрдости НВ по величине прилагаемого усилия вдавливания P и площади поверхности отпечатка A :

$$HB = \frac{P}{A}.$$

При испытании показатель твёрдости образца может оказаться между

показателями двух соседних минералов. Например, если образец чертится апатитом, а сам не оставляем царапину на флюорите, то его твёрдость принимают равной 4,5.

Истираемость, И – способность материала уменьшаться в массе и объёме под действием истирающих усилий. Оценивается потерей первоначальной массы образца, отнесённой к площади поверхности истирания, г/см²;

$$I = \frac{(m_1 - m_2)}{A},$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после истирания;

A – площадь поверхности истирания.

Сопротивление истиранию определяют стандартными методами с использованием специального круга истирания и абразивов (кварцевый песок, наждак). Истираемость имеет большое значение для полов, лестниц и других конструкций, подвергающихся истирающим воздействиям.

Износостойкость – свойство материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и ударов. Износ определяют испытанием пробы материала определённой массы во вращающемся барабане со стальными шарами или без них в течение определённого времени. Показателем износа служит потеря массы в результате измельчения пробы материала. Выражается износ в % от первоначальной массы.

Долговечность. Под долговечностью материалов понимают их способность длительно выдерживать воздействие всей суммы атмосферных факторов (температуры, влажности, воздействия агрессивных веществ и др.) Она оценивается сроком службы материала без потери эксплуатационных качеств в конкретных климатических условиях и в определенном режиме эксплуатации. Например, для железобетона нормами предусмотрены 3 степени долговечности: I – со сроком службы не менее 100 лет, II – не менее 50 лет, III – не менее 20 лет.

Технологические свойства. Свойства, выражающие способность к восприятию производственных операций, выполняемых в процессе получения материалов, их обработки и переработки, называют технологическими. Для оценки технологических свойств разработаны и стандартизированы специальные методы и приборы. Условно технологические свойства можно подразделить на характеристики формуемости и параметры обрабатываемости материалов и изделий из них.

При изготовлении композитных материалов (бетон, керамика, пластмасса и т.д.) приготовленная смесь должна обладать определённой удобоукладываемостью, то есть способностью воспринимать технологические операции по формованию и уплотнению изделий. Смеси с очень малой вязкостью, называются литыми. Обладая высокой текучестью, они не требуют специального уплотнения, что значительно упрощает технологию формования. Не требуют приложения больших уплотняющих усилий и высокопластичные смеси, используемые при наливных и литых способах формования наряду с литыми смесями. Уплотнение формуемых изделий в этих случаях

происходит под влиянием гравитации или свойств текучести.

При уплотнении малоподвижных и жёстких смесей, содержащих как правило, пониженное количество вязущего вещества и жидкой фазы, затрачивается значительно большая работа, чем при уплотнении пластичных, подвижных или литых смесей. Для достижения необходимой плотности формуемых изделий применяют различные технологические способы: введение в смесь пластифицирующих добавок, вибрационные воздействия, прессование, трамбование, укатка и др. Каждой консистенции формуемой смеси должны соответствовать определённые параметры уплотнения и сроки формования.

В соответствии с назначением изделий в процессе их изготовления применяют различные технологические способы обработки. Способность материалов к дробимости, раскалываемости (например, при производстве щебня), шлифуемости, полируемости (при получении гладких лицевых поверхностей изделий), гвоздимости (удерживание гвоздя при силовых воздействиях) и других показателей технологических свойств оценивается специально разработанными методиками и приборами.

Специальные свойства, учитываются и используются при выборе материалов для конструкций специального назначения, работающих в особых условиях.

Химическая стойкость – способность материала противостоять разрушительному действию кислот, щелочей и солей. Химическая стойкость представляет собой свойства материалов оказывать сопротивление воздействию солей, газов, кислот и щелочей. Строительные материалы часто подвергаются разрушительному воздействию различных газов и жидкостей.

Так, например, сточные воды содержат концентрированные щелочи и соли, которые оказывают разрушительное воздействие на структуру канализационных труб.

Большинство строительных материалов не обладают необходимой химической стойкостью. Цемент, известняк, мрамор не смогут выдержать воздействие кислоты и разрушаются в краткие сроки. Битум не переносит воздействие концентрированных щелочей. Поэтому для сооружения канализации используют такие химически стойкие материалы как стекло, облицовочная плитка, плитка для пола.

Акустическая стойкость – способность поглощать или отражать звук и вибрацию.

Прозрачность – свойство материала направленно пропускать свет, характеризуется отношением величины потока излучения, прошедшего без изменения направления через слой материала единичной толщины. Материалы, которые не передают свет, называются непрозрачными.

Биологическая стойкость – способность материала сопротивляться влиянию процессов жизнедеятельности бактерий или живых организмов, т.е. не являться для них питательной средой (пластмасса, камень).

Предельное напряжения сдвига – это показатель внутреннего напряжения, который позволяет необратимо деформироваться и превратиться в вязкое вещество. В строительной индустрии эту величину назвали структурной

прочностью. Процесс преобразование структуры на начальном этапе медленный, так как внутренние связи между частицами разрушаются постепенно. Чем дольше воздействие на вязкое тело, тем быстрее протекает преобразование.

Тиксотропия – временная потеря вязкой структуры. Тиксотропии подвержены мастики, краски, бетонные и растворные смеси. При механическом воздействии связи внутри материала рушатся. Но после прекращения действий, материал возвращается в первоначальное состояние.

Тиксотропия нашла применение в уплотнении бетонных смесей, нанесении мастичных и красочных смесей с помощью шпатели и кисти. Благодаря этому свойству возможно окрашивание различных поверхностей.

Адгезийная стойкость – способность твердых и жидких материалов взаимодействовать друг с другом.

Декоративность – совокупность архитектурно-художественных признаков материала, характеризующая степень его природной красоты.

Экологическая чистота – отсутствие вредного биологического воздействия на людей.

Радиационная стойкость – способность противостоять ионизирующим лучам (особо тяжелый бетон).

Вязкость – это трение, которое возникает между перемещающимися слоями жидкости по отношению друг к другу. Пластично-вязкие смеси имеют свойства, находящиеся на грани между твердыми и жидкими телами, т.е. вязкое тело ведет себя и как жидкое, и как твердое тело. В строительстве используют такие вязкие смеси, как краски, цементное и гипсовое тесто, строительные растворы.

Требования к специальным свойствам в каждом конкретном случае устанавливаются с учётом условий эксплуатации конструкций. Испытание и определение характеристик специальных свойств проводят с использованием соответствующих методов, приборов и оборудования.

Контрольные вопросы

1. *Что изучает наука строительное материаловедение?*
2. *Принципы и признаки классификации строительных материалов.*
3. *Макроструктур строительных материалов, типы макроструктур.*
4. *Микроструктур строительных материалов.*
5. *Основные группы свойств строительных материалов.*
6. *Физические свойств, основные характеристики.*
7. *Химические и физико-химические свойства.*
8. *Эксплуатационно-механические свойства.*
9. *Технологические свойства строительных материалов.*
10. *Механические свойства строительных материалов, основные особенности.*
11. *Специальные свойства строительных материалов.*

ЛЕКЦИЯ 2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Вопросы:

- 2.1. Классификация и краткая характеристика горных пород. Породообразующие минералы.
- 2.2. Горные породы, используемые в строительстве.
- 2.3. Способы разработки и обработки природных камней. Хранение и транспортировка каменных материалов и изделий

2.1. Классификация и краткая характеристика горных пород. Породообразующие минералы

Природными, называются каменные материалы и изделия, получаемые механической обработкой (дроблением, раскалыванием, распиливанием и т.п.) горных пород.

В гидротехническом строительстве каменные материалы и изделия имеют широкое применение. Камни неправильной формы: бутовый камень, булыжник, гравий и щебень используются для кладки фундаментов гидротехнических сооружений, возведения каменно-земляных и каменно-набросных плотин, приготовления бутобетона для возведения внутренней зоны бетонных и железобетонных плотин, фундаментов гидроузлов насосных станций и ГЭС, крепления откосов каналов и водохранилищ, устройства каменных отсыпок вокруг бетонных гидротехнических сооружений с целью защиты бетона от коррозии.

Камни правильной формы из изверженных плотных пород и песчаников используют при кладке плотин методом сухой кладки (без раствора) правильными рядами с перевязкой швов, устройстве отделочной кладки подводной и надводной части сооружений (набережные, насосные станции, здания ГЭС), кладке опор акведуков, мостов и подпорных стенок; изготовлении архитектурных элементов (колонн, цокольных частей, зданий). Булыжник из плотных горных пород используют при устройстве креплений от волнового и скоростного воздействия воды, откосов земляных плотин, каналов, водохранилищ, при мощении дорог.

Природные каменные материалы или «нерудные материалы», превышают 20% затрат в строительстве занимая одно из основных мест в составе строительных материалов.

Классификация горных пород. Горная порода – это крупное скопление, сложенное из одного или нескольких минералов (моно- или полиминеральные породы), характеризующееся достаточно постоянным составом, строением и свойствами. Минеральный состав и структура определяют свойства горной породы.

Основой классификации горных пород является их происхождение – генетическая классификация. Условия образования горных пород определяют их химико-минералогический состав, кристаллическое строение и структуру. В свою очередь от этих показателей зависят основные физико-

технические свойства горных пород, и они являются исходными при выборе и технико-экономической оценке природных каменных материалов.

Минерал (от лат. *minera* – руда) – природное тело, однородное по химическому составу, строению и свойствам, образующееся в результате физико-химических процессов на поверхности и в глубинах земли. Минералы в подавляющем большинстве – твёрдые тела: кристаллические и аморфные, в природе известно более 3 тысяч минералов, но лишь немногие из них образуют крупные скопления, такие минералы называют породообразующими.

Каждый минерал обладает комплексом только ему присущих свойств и признаков таких как: химический состав и строение, плотность, твёрдость, спайность, оптические свойства (блеск, цвет, светопреломление и др.). По этим признакам идентифицируют минералы.

В зависимости от условий формирования горные породы делятся на три группы: магматические, осадочные и метаморфические (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Классификация горных пород

ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ.

Минералы группы кремнезема SiO_2 – ряд минералов представляющих собой модификации диоксида кремния – кварц, опал и халцедон.

Кварц – наиболее распространенная разновидность кремнезёма является существенной составной частью многих горных пород (гранита, кварцита, песка и др.), обладает исключительно высокой прочностью при сжатии (до 2000 МПа) и высокой для хрупких материалов прочностью при растяжении (около 100 МПа), высокой твёрдостью (по шкале твёрдости – 7) и химической стойкостью, цвет молочно-белый, крупные прозрачные кристаллы кварца называют горным хрусталём, окрашенные в лиловый цвет – аметистом.

Опал – гидрат окиси кремния $SiO_2 \cdot n \cdot H_2O$, содержит 2-14% воды, встречается в породах органогенного происхождения: диатомитах, трепеле и др.

Халцедон – разновидность кварца, содержащая до 1,5% воды и примеси оксидов железа и алюминия.

Полевые шпаты – самые распространенные минералы, составляющие более 50% от массы изверженных пород (гранитов, сиенитов, габбро и др.) Главными разновидностями полевых шпатов являются: ортоклаз (прямоугольничатый); плагиоклазы (косораскалывающийся).

Твёрдость полевых шпатов – 6-6,5; прочность и стойкость несколько ниже, чем у кварца. Цвет полевых шпатов зависит от примесей и чаще всего бывает от белого до тёмно-серого и от светло-розового до тёмно-красного.

Железисто-магнезиальные силикаты – тёмноокрашенные минералы, входящие в состав изверженных пород (габбро, базальты, диабазы и др.). Наиболее распространённые минералы этой группы – пироксены, амфиболы, роговая обманка и оливин, отличительная черта – высокая ударная вязкость, благодаря чему породы, в которых они присутствуют, имеют меньшую хрупкость и повышенную износостойкость, цвет от тёмно-зелёного до чёрного. Все минералы за исключением оливина, стойки к выветриванию.

Слюды – группа минералов обладающих спайностью в одной плоскости, т.е. легко расщипляющиеся на тончайшие пластинки. Среди слюд наиболее распространены мусковит и биотит.

Мусковит – прозрачная калиевая слюда. Вплоть до 18 века, начала промышленного выпуска стекла его применяли для устройства окон. В настоящее время мусковит применяют в качестве электроизоляционного высокотемпературного материала, защитной косынки для рубероида, а также добавляют в составы огнеупорных красок и декоративных растворов.

Биотит – тёмная железистомагнезиальная слюда, в строительстве применяется разновидность – вермикулит. При нагревании до 900 – 1000°C вспучивается, увеличиваясь в объёме в 15-20 раз. Вспученный вермикулит применяют для изготовления тепло – и звукоизоляционных материалов.

Асбест – группа минералов, водных силикатов магния и железа, кристаллы которых представляют собой, тончайшие волокна, легко поддающиеся распушке. В России находятся крупнейшие в мире месторождения наиболее ценного вида асбеста – хризотил-асбеста, используемого при производстве асбестоцементных изделий.

Глинистые минералы – группа водных силикатов алюминия. Они образуются в результате выветривания полевых шпатов в виде очень мелких частиц размером не более 0,01 мм, которые в свою очередь представляют агрегаты мельчайших кристаллов. Глинистые минералы гидрофильны и при увлажнении образуют пластичное тело. Среди них чаще всего встречаются каолинит и монтмориллонит.

Карбонаты – группа минералов представляющая собой соли угольной кислоты. Встречаются в основном в осадочных породах. Стойкость минералов невысокая. Основные представители – кальцит, магнезит и доломит.

Кальцит $CaCO_3$ – один из наиболее распространённых минералов поверхностного слоя земной коры. Он хрупок, при раскалывании всегда образует кристаллы в виде косых параллелепипедов. Кальцит без примесей – прозрачный, легко разлагается кислотами с бурным выделением углекислого газа, растворяется в воде насыщенной CO_2 . При нагревании выше 85 °С кальцит разлагается на CaO и CO_2 . Породы, сложенные из кальцита (мел, известняк, мрамор), характеризуются низкой химической и атмосферостойкостью.

Магнезит $MgCO_3$ по свойствам близок к кальциту, но встречается реже. Образует породу того же названия.

Доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ – распространённый минерал, по свойствам занимает промежуточное положение между кальцитом и магнезитом.

Сульфаты – минералы представляющие соли серной кислоты. В строительстве применяется гипс, ангидрит и реже барит.

Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ – очень мягкий минерал. В чистом виде прозрачный, но обычно окрашен примесями в светло-серый, желтоватый или розовый цвет. В природе встречается как самостоятельная порода и как цементирующее вещество в природных конгломератах.

Ангидрит $CaSO_4$ – безводная разновидность гипса – существует в нескольких кристаллических формах. Цвет светло-серый, серо-голубой; за счёт полупрозрачности, даёт эффект свечения изнутри.

Барит $BaSO_4$ – бесцветные или белые кристаллы. Его применяют в бетонах и растворах для защиты от ионизирующего излучения.

2.2. Горные породы, используемые в строительстве

МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ.

Магматические – первичные породы, образующиеся при остывании магмы, что связано со сложными процессами происхождения магм и строения Земли. Магма представляет собой высокотемпературный силикатный расплав, который в зависимости от режима охлаждения может образовать:

а) плотные кристаллические породы, если остывание происходило медленно и под большим давлением в глубине земной коры (глубинные магматические породы);

б) аморфные (стеклообразные) или слабозакристаллизованные, а при наличии газа в магме – пористые породы (излившиеся магматические).

Минеральный состав пород зависит от химического состава магмы:

- кислые (содержание диоксида кремния $SiO_2 > 65\%$);
- средние ($SiO_2 = 50-65\%$);
- основные ($SiO_2 < 50\%$).

В образовавшихся из кислой магмы горных породах, обязательно присутствует кварц. Если порода образовалась из основной магмы, в ней преобладают тёмноокрашенные железистомагнезиальные алюмосиликаты.

Глубинные породы – характерны: кристаллическая структура, отсутствие пор, высокая прочность, твёрдость и морозостойкость. К ним относятся: граниты, сиениты, габбро и диориты.

Гранит – зернисто-кристаллическая порода, сложенная из трёх минералов: кварца (20-40%), полевых шпатов (40-70%) и слюды (5-20%), имеет высокую прочность при сжатии – 100-250 МПа, а при растяжении, как и других каменных материалов в 30-40 раз ниже.

Граниты – твёрдые породы (твёрдость более 6) имеют высокую химическую стойкость. Их цвет бывает чаще всего серым, розовым или тёмно-красным, хорошо полируются, приобретая декоративный вид.

Сиениты – аналоги гранита, но без кварца, обладают теми же свойствами и областью применения.

Диориты – тёмно-серая мелкокристаллическая порода, состоящая в основном из полевых шпатов (около 75%) и тёмноокрашенных минералов. Отличается повышенной ударной вязкостью. Применяется как облицовка и в дорожном строительстве (брусчатка и т.п.).

Габбро – крупнокристаллическая порода, образовавшаяся из основной магмы, обладает высокой морозостойкостью и стойкостью против выветривания, как правило, тёмно-серого, тёмно-зелёного до чёрного цвета, хорошо полируется и имеет красивую текстуру.

Излившиеся плотные породы имеют порфировую (неравномерно-зернистую) структуру, когда в общей аморфной массе вкраплены кристаллы какого-либо минерала.

Базальт – самая распространённая излившаяся порода от тёмно-серого до чёрного цвета. По прочности на сжатие базальт превосходит габбро – 500 МПа. Базальты твёрдые, но хрупкие породы, что затрудняет их обработку.

Плотные излившиеся породы менее декоративны и менее стойки к выветриванию, чем глубинные, применяют в виде щебня для бетона, отсыпки железнодорожных путей, а также в качестве сырья для каменного литья и получения высококачественной минеральной ваты.

Излившиеся пористые породы – первичные продукты, образовавшиеся непосредственно при извержении вулканов – это вулканические пеплы, пески и пемза, которые с течением времени могли цементироваться, образуя туфы.

Вулканические пепел и песок – порошкообразные частицы, имеющие стеклообразное строение, благодаря чему при добавлении извести или цемента, а иногда и самостоятельно способны к твердению. Используются как активная добавка к вяжущим материалам.

Пемза – очень пористая лёгкая порода в виде кусков размером 5-100

мм. Большая пористость (до 80%) обуславливает низкую теплопроводность. Прочность при сжатии 2-4 МПа позволяет использовать для получения лёгких бетонов, а в молотом виде как добавка к цементам и в качестве абразивного порошка.

Вулканические туфы – образовавшаяся из вулканических пеплов порода, которая омонолитилась в результате стекания массы, сохранившей высокую температуру, а также в результате природной цементации. Это пористая порода (30-60%), с замкнутыми порами, что обуславливает его высокую морозостойкость. Прочность туфа зависит от пористости и составляет 2-20 МПа, теплопроводность в 1,5-2 раза ниже, чем у кирпича. Цвет туфов не яркий, основные оттенки красно-оранжевые до коричневато-лиловых, используют как облицовочный материал и для кладки стен, в тонкомолотом виде как добавка к цементам.

ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ.

Осадочные – вторичные породы, образовавшиеся в результате выветривания магматических пород, в зависимости от происхождения делят на: а) механические осадки, при образовании которых главную роль играли физико-механические процессы (воздействие воды, мороза, нагрева и охлаждения и т.п.); при этом, как правило, не менялся минеральный и химический состав исходных пород; б) органогенные осадки, которые образовались из остатков (скелетной части) живых организмов, как правило, морской фауны (ракушки, кораллы, и т. п.); в) хемогенные осадки, образовавшиеся в результате растворения первичных пород и последующей кристаллизации из водных растворов.

Обломочные, осадочные породы могут быть рыхлые как гравий, песок, глина и сцементированные – те же рыхлые осадки, частицы которых склеены под действием минерализованных грунтовых вод и давления, вышележащих горных пород (брекчии, конгломераты, песчаники).

Песок – преобладающий минерал кварц, т.к. при выветривании гранита кварц оказывается самым твёрдым и химически стойким минералом, не подвергающимся разрушению.

Глина, источник образования – полевые шпаты, самые распространённые минералы изверженных пород.

Песчаники – зёрна кварцевого песка, сцементированные природным цементом, например, карбонатом кальция, водным кремнеземом, гипсом и т.п., путём постепенного осаждения на зёрнах песка цементирующего вещества из воды (как накипь в чайнике), в зависимости от цементирующего вещества называют известковыми, кремнистыми и т.д. Цвет песчаников зависит от цвета цементирующего вещества, плотность – 2300-2500 кг/м³, прочность – от 10 до 100 МПа. Песчаники используют для фундаментов, подпорных стенок, тротуаров, а особо стойкие для облицовок, а также для приготовления щебня для бетонов и дорожных покрытий.

Конгломераты и брекчии – породы, состоящие из сцементированных крупных зёрен гравия (конгломераты) или из остроугольных с шероховатой поверхностью зёрен щебня (брекчии), с областью использования, как и у

песчаников.

Органические осадочные породы в основном состоят из карбоната кальция $CaCO_3$ и реже из аморфного кремнезема SiO_2 . Главные породы в этой группе – известняки различного вида, широко используемые в строительстве.

Известняки плотные – распространённая горная порода, состоящая в основном из кальцита $CaCO_3$, цвет в зависимости от примесей: белый, светло-серый, серовато-кремовый или желтоватый.

Плотность известняков 2000-2600 кг/м³, прочность при сжатии сравнима с прочностью бетона 10-100МПа, твёрдость небольшая – 3-3,5, что позволяет легко добывать и обрабатывать известняк. Известняки – одна из самых распространённых пород в строительстве, издавна использовались для возведения зданий и их облицовки, из известняков делались фундаменты. Самый распространённый щебень – известняковый (для бетонов и дорожных покрытий). Известняк – сырьё для получения извести и цемента, однако абсолютно не стойкий к воздействию кислых сред.

Известняк – ракушечник – пористая порода, состоящая из раковин и панцирей моллюсков, сцементированных известковым цементом, имеет низкую теплопроводность и легко поддаётся распиловке. Используется в виде камней и блоков как местный стеновой материал, декоративные разновидности ракушечника применяют как облицовочный материал.

Мел – горная порода, состоящая из мельчайших обломков раковин и скелетов морских микроорганизмов, представляет собой почти чистый кальцит $CaCO_3$. Используют при производстве извести, цемента, стекла, а благодаря высокой дисперсности для приготовления красок и шпатлёвок.

Диатомиты и трепелы – рыхлые породы белого, серого или желтоватого цвета, в основном состоящие из аморфного кремнезема SiO_2 и H_2O . По внешнему виду и физическим свойствам похожи на мел, образовались из остатков мельчайших водорослей, а так же кремневых скелетов морской микрофауны с примесью глины и ила. Под давлением вышележащих слоёв горных пород диатомиты и трепелы уплотнились и превратились в плотную, прочную и трудноразмокающую в воде породу – опоку. В диатомите и трепеле до 75-95% активного кремнезема, поэтому их применяют как гидравлическую добавку к вяжущим и производстве теплоизоляционных материалов.

Хемогенные осадочные породы – это гипс, ангидрит, известковый туф, магнезит и доломит, образовались, главным образом, при испарении вод, содержащих минеральные соли.

Гипс – порода обычно белого или серого цвета, состоящая из минерала того же названия, используют как сырьё для получения гипсовых вяжущих.

Ангидрит – плотная горная порода, состоящая преимущественно из минерала ангидрита $CaSO_4$, цвет белый с голубым или серым оттенком. Используют для получения вяжущих для внутренней отделки и скульптурных работ. На открытом воздухе быстро выветривается, переходя в гипс.

Известковый туф образовался в результате выпадения $CaCO_3$, из источников подземных углекислых вод. Туфы пористы и имеют ноздреватое строение, легко поддаются распиловке и используются для внутренней обли-

цовки помещений, улучшая их акустические свойства.

Магнезит – состоит в основном из минерала магнезита $MgCO_3$, используют для получения огнеупоров и магнезиальных вяжущих.

Доломит – порода, состоящая в основном из минерала доломита $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, с примесью глины, оксидов железа и др. По структуре и физическим свойствам близок к плотным известнякам, поэтому его применяют в качестве строительного камня и щебня для бетона.

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ.

Метаморфические – осадочные и магматические породы, изменившие своё строение и свойства в результате длительных физико-химических процессов, протекающих под воздействием высоких давлений, температур и минерализованных вод, во время нахождения их в земной коре. Главными факторами метаморфизма являются температура, давление и химически активные вещества – растворы и газы, под действием которых породы любого состава и генезиса (магматические, осадочные или метаморфизованные) подвергаются изменениям. Основными метаморфическими породами для строительства являются мрамор, кварцит, глинистый сланец и гнейс.

Мрамор – метаморфизированный известняк, состоящий из плотно сросшихся без цементирующего вещества между собой кристаллов кальцита ($CaCO_3$), иногда с примесью доломита ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$), при огромном многостороннем давлении в условиях повышенных температур. Мрамор имеет высокую плотность 2600-2800 кг/м³ и прочность при сжатии 50-300 МПа, водопоглощение менее 1%, твёрдость 3-3,5, что облегчает его обработку.

Мрамор может быть как чисто белого цвета, так и самых разнообразных цветов с характерным «мраморовидным» рисунком, хорошо полируется, широко применяется для отделки зданий и общественных сооружений. Не рекомендуется для полов с большой интенсивностью эксплуатации (истираемостью) и для наружной облицовки зданий, т.к. кальцит не стоек к действию влаги и кислотных оксидов (в том числе и CO_2), содержащихся в атмосфере городов, быстро теряет полировку и разрушается с поверхности.

Кварциты – метаморфизированные кремнистые песчаники, в которых кристаллы кварца непосредственно срослись между собой, стойки к выветриванию, имеют высокую прочность при сжатии – до 400 МПа и плотность 2600-2700 кг/м³. Из-за большой твёрдости около 7, трудно обрабатываются.

Цвет кварцитов белый, красный, тёмно-вишнёвый, применяются в ответственных частях зданий и сооружений, для облицовки, а так же в виде щебня для бетона и сырья для получения огнеупоров.

Глинистый сланец образовался из глин в результате перекристаллизации в условиях одноосного давления и повышенных температур, имеет тёмно-серый цвет и легко раскалывается на плоские плитки, называемые шифером, использовались в качестве долговечного кровельного материала.

Гнейсы – слоистая порода, образовавшаяся в результате перекристаллизации гранитов и других магматических пород при одноосном давлении, имеют слоистое (сланцевое) строение, что облегчает их добычу и обработку, но снижает стойкость к выветриванию. Раскалываются по слоям слюды.

2.3. Способы разработки и обработки природных камней. Хранение и транспортировка каменных материалов и изделий

Для добычи и обработки природного камня используют различные методы, которые зависят от вида конечной продукции (щебень, облицовочные плиты, стеновые камни и т. п.) и свойств разрабатываемой породы. Для строительных материалов важнейшими показателями при оценке возможностей их использования являются: прочность (твердость), долговечность и обрабатываемость. Для ориентировочной оценки и сравнения относительной твердости материалов методом царапания создана десятибалльная шкала Мооса (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Шкала твёрдости Мооса

Показатель твердости	Минерал	Характеристика твердости
1	Тальк или мел	Легко чертится ногтем
2	Каменная соль или гипс	Чертится ногтем
3	Кальцит или ангидрит	Легко чертится стальным ножом
4	Флюорит (плавиковый шпат)	Царапается стальным ножом под небольшим нажимом
5	Апатит	Царапается стальным ножом под сильным нажимом
6	Ортоклаз	Слегка царапает стекло, стальным ножом не чертится
7	Кварц	Легко царапают стекло, стальным ножом не чертятся
8	Топаз	
9	Корунд	
10	Алмаз	

Долговечность горных пород характеризуется их способностью сохранять первоначальные свойства в процессе эксплуатации сооружений и временем до разрушения облицовок (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Классификация горных пород по долговечности

Горные породы	Категория долговечности	Долговечность, годы		
		начало разрушения	угрожающее состояние	конец разрушения
Цветные мраморы	Пониженной долговечности	20...75	20...200	100..600
Белые мраморы, плотные известняки и доломиты	Средней долговечности	75...150	200...400	1200
Граниты, лабрадориты и т.п.	Долговечные	220...350	550...1000	свыше 1500
Кварциты	Очень долговечные	650	свыше 1500	–

Обрабатываемость связана с твердостью, в зависимости от которой изменяется трудоемкость получения изделий, условно разделена на 9 категорий.

Категории обрабатываемости горных пород:

- 1 – гипсы, известняки, ангидриты, пористые ракушечники, вулканические туфы;
- 2 – мраморы, травертины, доломиты, туфы плотные;
- 3 – мраморы и туфы с включением кварца и других твердых минералов;
- 4 – песчаники слабосцементированные, базальты;
- 5 – габбро, лабрадориты;
- 6 – диабаз, габбро-диабазы, сиениты, гранодиориты;
- 7 – граниты малопрочные;
- 8 – граниты средней прочности;
- 9 – граниты прочные, яшмы, кварциты, роговики.

В камнеобрабатывающей промышленности принята следующая классификация горных пород:

- а) твёрдые – породы, в состав которых входят минералы с твёрдостью 6-7 (кварцит, гранит, габбро, лабрадорит и т.п.);
- б) средние – минералы этих пород имеют твёрдость не выше 5 (мрамор, плотные известняки, доломиты, некоторые виды туфа и т.п.);
- в) мягкие – сравнительно небольшая группа пород с твёрдостью 2-3 (гипс, ангидрит, известняк ракушечник, высокопористые туфы и т.п.).

При разработке месторождений строительных горных пород для выбора наиболее производительных структур комплексной механизации учитываются свойства пород в естественном состоянии.

Щебень и бутовый камень получают, разрабатывая горные породы открытым, взрывным методом. Буровзрывной способ добычи состоит из следующих операций: бурение скважин в массиве; закладка взрывчатых веществ и взрывание. При этом порода дробится на куски (отделение от массива). Применяются бризантные (дробящие) взрывчатые вещества – аммонит, тротил и другие. Образовавшиеся при взрыве негабаритные куски, размеры которых превышают допустимые для экскаваторов, также дробят взрыванием. Транспортирование горной породы из карьера на дробильно-сортировочный завод с целью ее переработки осуществляется главным образом в большегрузных автосамосвалах (рисунок 2.2.).

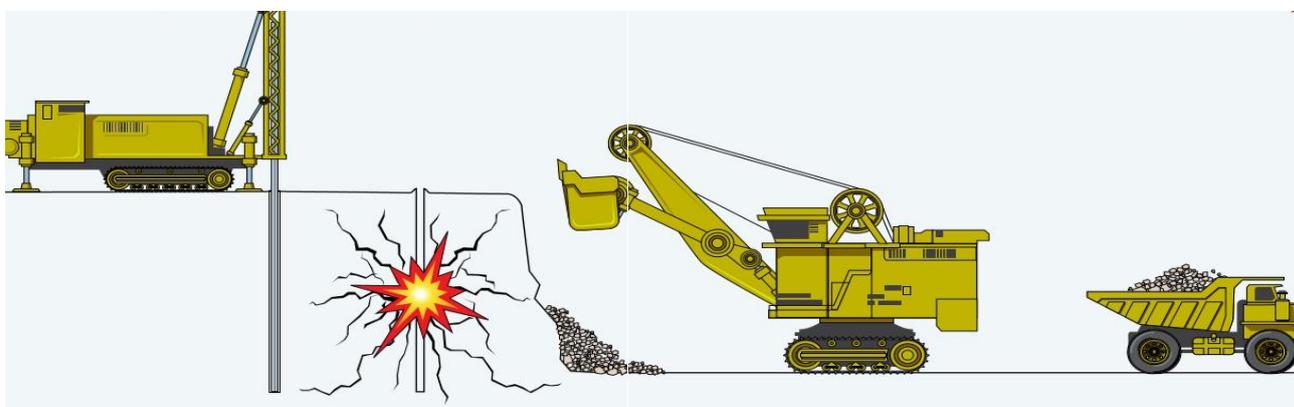


Рисунок 2.2 – Открытый буровзрывной метод добычи природных камней

Образовавшиеся после взрыва обломки породы дробят до нужного размера и отсеивают по фракциям (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Дробильно-сортировочный способ разработки природных камней

Отделочные и стеновые изделия получают из камня, добываемого различными механизированными методами, не нарушающими структуру породы. Выбор метода добычи зависит, главным образом, от твёрдости породы.

Средние и мягкие породы добывают в карьерах с помощью камнерезных машин, снабжённых твёрдосплавными дисковыми, цепными или канатными пилами (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Распиловка крупных блоков из пород средней твердости

Вырезку мелкоштучных блоков из таких пород производят поточным методом. В этом случае по рельсовому пути, проложенному в карьере, движутся три дисковые камнерезные машины, производящие горизонтальные и вертикальные пропилы и пропилы, отделяющие камень от основного массива породы. Дисковые пилы позволяют получить камень размером не более 35%

от диаметра диска, т.е. не более 50-70 см. Блоки большого размера целесообразно выпиливать машинами с рабочим органом в виде фрезы.

Для вырезки блоков из пород средней твёрдости могут применяться дисковые и цепные пилы, снабжённые алмазными режущими насадками. Производительность таких машин в породах средней твёрдости в 4-5 раз выше ($5-10\text{ м}^2/\text{ч}$), чем на твёрдосплавном инструменте ($1-2\text{ м}^2/\text{ч}$). Для мягких пород применение алмазного инструмента не эффективно.

Установка канатного пиления работает на «свободном» абразиве (кварцевом песке, карборунде) фракции 0,3-0,6 мм, подаваемым в пропи́л вместе с водой. Скорость движения каната – 7-10 м/с; производительность установки – 1-2 м² пропи́ла в час. В последние годы получили распространение канатные пилы с армированным режущим органом: на многожильный канат насажены «алмазные» втулки диаметром 10-14 мм. Благодаря большой скорости движения каната (35-45 м/с) такая установка имеет высокую производительность – 10-15 м²/ч.

Твёрдые породы обычно разрабатывают, отделяя сначала крупный монолит. Затем его делят на блоки, из которых на камнеобрабатывающем заводе получают требуемые изделия. Отделение монолита может осуществляться несколькими способами: буроклиновым, строчечным бурением и канатными пилами с алмазными насадками.

Буроклиновой способ, применяемый чаще других, заключается в том, что отделяемый объём камня обруивается по контуру перфораторами (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Буроклиновой способ разработки твердых пород

В полученные отверстия (шпуры) вводятся гидравлические или механические клинья или расширяющиеся составы на основе минеральных вяжущих веществ – так называемый «тихий взрыв». С их помощью монолит породы раскалывают по требуемой плоскости. В старину для этой цели применяли силу замерзающей воды или набухающей древесины. Этот метод базируется на крайне низкой прочности камня при растяжении (для гранита $R_p=5-8\text{ МПа}$, при $R_{сж} > 100\text{ МПа}$).

Добытые в карьере блоки перевозят на камнеобрабатывающий завод, где производится их распиловка на плиты или изготовление из них фасонных изделий. Современные способы обработки натуральных камней, включают выполнение следующих видов работ.



Пиление находят свое применение в ландшафтном дизайне (садовые дорожки, придомовые площадки, искусственные водоемы), для облицовки цоколей, внутренней облицовки помещений, а также как элемент декора (камины, входные группы, стены).



Шлифованные плиты применяют лестничные марши, полы, пешеходные площадки



Лощение широко применяется для изготовления напольных плит и плит для внешней/фасадной облицовки здания.

Пиление – достигается распиливанием заготовки. Поверхность спила остается неравномерно-шероховатая, с так называемыми, бороздками высотой до 2 мм. Пиление с помощью стальной дробы придает дополнительный рельеф, тогда как специальные армированные пластины из твердых сплавов, наоборот, сглаживают. Пилёные

Шлифование – процесс выравнивания твердого материала с помощью абразивов до равномерно-шероховатой поверхности (видны следы обработки). Выполняется в несколько этапов (от 3 до 7). На каждом этапе используются разные шлифовальные насадки с постепенным уменьшением зерен абразива. Максимально допустимая неровность – до 0,5 мм. На качество шлифования влияет такая характеристика, как обрабатываемость. Шлифованные плиты применяют

Лощение (тонкая шлифовка) – максимальное сглаживание плоскости шлифовальным инструментом с напылением микрошлифпорошков. Другими словами – улучшенное, гладкое шлифование или полировка без блеска. Следы от инструмента не видны, поверхность матовая с небольшим бархатным мерцанием, хорошо просматривается природный узор.



Полировка – максимальное сглаживание поверхности до зеркального блеска и четкого отражения деталей предметов. Существует химическая полировка и механическая. При химической, применяют специальные соединения – пасту ГОИ (оксид хрома) или азотнокислое олово, а при механической полировке – войлочные или фетровые круги. У каждого камня существует свой показатель предельного блеска, при достижении которого качество полировки не становится лучше. Эталоном принято считать предельный блеск стекла, который составляет 200 единиц.

Полируемость может быть: *отличная* – 170-200 ед. – полнокристаллические мраморы, мелкозернистые граниты, кварциты; *хорошая* – 140-170 ед. – граниты, мраморизованные известняки; *средняя* – 70-140 ед. – базальты, известняки, доломиты; *плохая* – менее 70 ед. – туфы, рыхлые известняки. Полировка выявляет природную/естественную фактуру камня – цвет и рисунок.



Термообработка /Обожжение/ Оплавление – обработка поверхности камня (преимущественно гранита) пламенем высокой температуры (2300-2700° С) до достижения шероховатой поверхности со следами шелушения. В процессе воздействия огня часть минералов плавятся, и выгорает, вследствие чего образуются впадины и бугры небольших размеров. Зернистость получаемой фактуры

зависит от размеров кристаллов гранита и продолжительности воздействия пламени на поверхность. Термообработанный камень чаще применяют в дорожном строительстве, обустройстве придомовой территории в ландшафтном дизайне, для оформления входных групп и лестничных маршей для снижения скольжения.

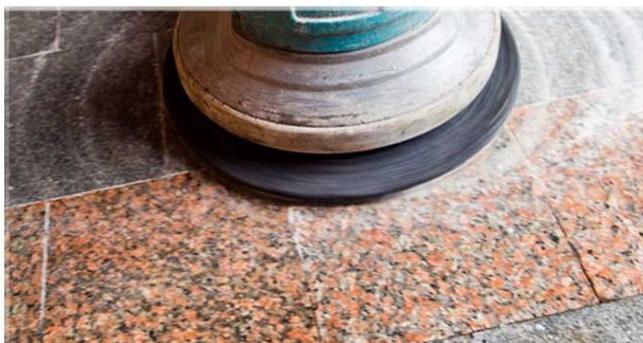


Скол (фактура «Скала») – скалывание специальными клиньями верхнего слоя поверхности для имитации, грубо обработанного камня или вовсе необработанного природного скола с хаотическими впадинами и выпуклостями. Колотая фактура встречается во внешней облицовке зданий (эффектно подчеркивает монументальность боль-

ших зданий), а так же при решении различных задач ландшафтного дизайна, гармонично вписывается в природный пейзаж.



Бучардирование – способ обработки для придания равномерно-шероховатой поверхности с максимально допустимыми неровностями рельефа до 5 мм. Обработка производится на машинах с ударным воздействием и с применением специальных насадок – бучарды (бучарда – молоток с рабочей поверхностью в виде зубцов, предназначенный для ударного скалывания поверхности натурального камня или специального насадка для камнеобрабатывающей машины). Этот метод обработки применяется, когда необходимо снять верхний изношенный слой камня для обновления, в отделочных работах в виде напольного покрытия, для снижения скольжения.



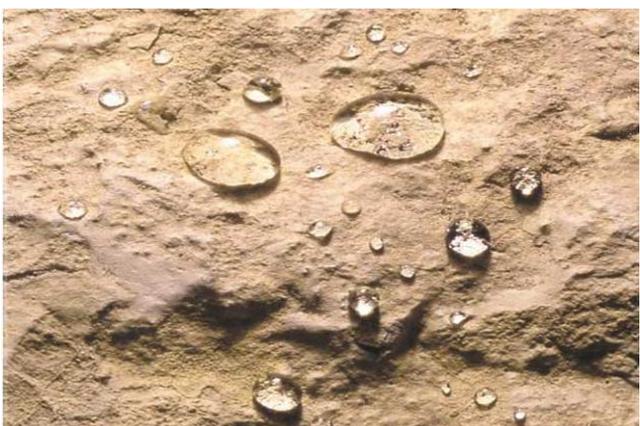
Браширование – суть обработки та же что и при бучардировании – придание равномерно-шероховатой поверхности и эффекта состаривания с несколько меньшими неровностями рельефа, которые достигаются с помощью специальных щеток, а не бучарды.



Галтовка – процесс обработки камня в специальных галтовочных барабанах или галтовочных вибромашинах. Камни вместе с наполнителем (арбазивом) помещают в машины, там они при воздействии острые углы и края обкалываются, сглаживаются. Получается гладкая поверхность со сглаженными гранями – эффект камня, долгое время находившегося в подвижной воде (галька).



Пескоструйная и водоструйная обработка – методы абразивного воздействия, при которых песок или иной мелкий абразивный материал распыляется либо струей воздуха под высоким давлением, либо струей воды, очищая поверхность и придавая ей равномерную шероховатость.



Травление – химический способ для очистки, придания шероховатости или удаления природной оксидной пленки на поверхности камня химическими реагентами. Применяется для удаления верхнего слоя породы, очищения, придания шероховатой поверхности.

Гидрофобизация – это придание пористым минеральным строительным материалам водонепроницаемых свойств с целью гидроизоляции строительных объектов, осуществляется путем обработки химическими растворами, например, кремнийорганическими гидрофобизаторами, вследствие чего поверхность становится несмачиваемой.

Флюатирование – обработка химическими растворами, при нанесении которых на камень происходит химическая реакция, в результате, ионы кальция, находящиеся на поверхности, преобразуются в почти нерастворимый CaF . В результате правильно проведенной обработки значительно уменьшается водопоглощение, повышается морозостойкость, а также снижается вероятность загрязнения поверхности.

Кроме того, пропитка флюатами, обладающими антисептическими свойствами, предотвращает развитие микрофлоры.

Хранение и транспортировка каменных материалов и изделий. Материалы и изделия из природного камня во время транспортирования следует предохранять от увлажнения, загрязнения и механических повреждений. Бутовый и валунный камень, щебень, булыжный камень перевозят навалом или в контейнерах. Бутовый камень хранят в штабелях навалом по маркам и породам; брусчатку – в штабелях по сортам и классам.

Крупные стеновые блоки, блоки для распиливания, бортовые камни перевозят на открытых платформах с укладкой правильными рядами на подкладках, защищая от повреждений.

Плиты и блоки хранятся в штабелях с зазорами для естественной вентиляции, маркируются: на тыльной их стороне или на торце краской наносится тип камня, плиты или блока, размеры и некоторые другие сведения.

В результате действия проникающей в поры и трещины воды и мороза, различной степени температурного расширения входящих в состав камней минералов, влияния агрессивных газов изделия из природного камня в процессах транспортирования, хранения и эксплуатации могут разрушаться. Для предохранения от разрушения их покрывают кремниеорганическими жидкостями, растворами воска и парафина, нерастворимыми в воде солями (флюатирование), а также пропитывают полимерными материалами.

Ликвидация непроизводительных потерь материальных ресурсов в процессе их транспортировки, приемки, складирования и хранения является одним из путей снижения себестоимости строительно-монтажных работ.

Снижение затрат на материалы, изделия и конструкции только на 1% при современных масштабах строительства дает огромную экономию средств. Между тем во многих строительных организациях еще имеются потери материальных ресурсов в результате нарушений технических правил производства транспортно-складских операций (особенно по цементу, штучным стеновым и инертным материалам, стеклу и лесоматериалам).

Развитие индустриальных методов строительства, превращение строительных площадок в монтажные комплексы с применением крупных панелей, блоков и узлов заводского изготовления резко снижают потери материальных ресурсов. При этом соблюдение технических правил обеспечивающих сохранность панелей, блоков и узлов заводского изготовления при транспортировке, складировании и хранении, приобретает первостепенное значение для предотвращения непроизводительных потерь.

Контрольные вопросы

1. Назовите три группы горных пород по условиям их образования (по генетическому признаку).
2. Укажите основные породообразующие минералы.
3. Чем различаются между собой горная порода и минерал?
4. Изверженные горные породы и их применение в строительстве.
5. Осадочные горные породы и их применение в строительстве.
6. Метаморфических горных пород и их применение в строительстве.
7. Назовите способы разработки горных пород.
8. Особенности буровзрывного способа разработки горных пород.
9. Условия применения буроклинового способа разработки.
10. Дробильно-сортировочный способ разработки горных пород.
11. Достоинства и недостатки способа распиловки горных пород.
12. Виды фактурной обработки лицевой поверхности камня.
13. Особенности хранения и транспортировка каменных материалов.
14. Пути ликвидации непроизводительных потерь строительных материалов.

ЛЕКЦИЯ 3. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Вопросы:

- 3.1. Минеральные (неорганические) вяжущие вещества – классификация, свойства.
- 3.2. Воздушные вяжущие вещества. Атоклавные вяжущие.
- 3.3. Гидравлические вяжущие вещества.
- 3.4. Портландцемент – состав, способы производства, свойства.

3.1 Минеральные (неорганические) вяжущие вещества - классификация, свойства

Минеральными (неорганическими) вяжущими веществами называются порошкообразные материалы, которые при смешивании с водой или некоторыми водными соляными растворами образуют пластическую массу (тесто), способную со временем твердеть до камневидного состояния. Классификация минеральных вяжущих веществ приведена на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Классификация минеральных вяжущих веществ

В строительном материаловедении минеральные вяжущие представлены в основном воздушными и гидравлическими веществами.

Воздушные вяжущие вещества – в тестообразном состоянии твердеют и длительно сохраняют свою прочность только на воздухе, вне контакта с водой. Их используют в условиях, не связанных с воздействием водной среды.

В то время как гидравлические вяжущие вещества способны в тестообразном состоянии твердеть и длительное время сохранять прочность не только на воздухе, но и в воде, увеличивая с течением времени прочность отвердевшего теста. В отличие от воздушных, гидравлические вяжущие могут применяться в наземных, подземных, гидротехнических и других сооружениях, подверженных воздействию водной среды.

Группа вяжущие автоклавного твердения по существу являются гидравлическими – они набирают прочность и водостойкость при автоклавной (гидротермальной) обработке при давлении насыщенного пара 0,8-1,5 МПа и температуре 170-200°С в течение 2-20 часов.

Производства минеральных вяжущих веществ осуществляется с использованием таких горных пород как: известняк, мел, туф, ракушечник, доломиты, магнезит, гипс, мергели, глины, бокситы, кварцевый песок и др. а из побочных продуктов в качестве сырья используются металлургические и топливные шлаки, золы и другие.

Процессы производства вяжущих веществ во многом зависят от таких факторов, как состав сырья, однородность его компонентов, количество примесей, технологического и термического режимов, а принципиальная схема технологии вяжущих веществ зависит от специфических особенностей изготовления отдельных видов вяжущих.

3.2 Воздушные вяжущие вещества. Атоклавные вяжущие

Гипсовые вяжущие вещества – это вещества, состоящие в основном, из полуводного гипса или ангидрида, получаемые тепловой обработкой сырья с последующим помолотом. Сырьем для получения гипсовых вяжущих чаще всего служит горная порода гипс, состоящая преимущественно из минерала гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ с использованием ангидрида и отходов промышленности (например, фосфогипс, борогипс).

По срокам схватывания гипсовые вяжущие делят на три группы:

- А – быстросхватывающиеся (2-15 минут);
- Б – нормальносхватывающиеся (6-30 минут);
- В – медленносхватывающиеся (начало схватывания не ранее 20 минут).

По прочности гипсовые вяжущие разделяются на 12 марок: от Г-2 до Г-25. Предел прочности стандартных образцов, изготовленных из гипсового теста нормальной густоты через 2 часа должен соответствовать следующим показателям прочности, не менее мПа:

- марка Г-5 – 5,0 при сжатии и 2,5 при растяжении;
- марка Г-6 – 6,0 при сжатии и 3,0 при растяжении;
- марка Г-7 – 7,0 при сжатии и 3,5 при растяжении.

Марка гипсового вяжущего, например, Г-7-Б-П, даёт информацию о его основных свойствах, где Г – гипсовое вяжущее, 7 – предел прочности на сжатие в МПа, Б – нормальносхватывающееся, П – среднего помола.

В зависимости от температуры тепловой обработки гипсовые вяжущие вещества подразделяются на две группы: низкообжиговые и высокообжиговые.

Низкообжиговые гипсовые вяжущие получают тепловой обработкой природного гипса при низких температурах (110-180 °С). Они состоят в основном из полуводного гипса, так как дегидратация сырья при указанных температурах приводит к превращению двухводного гипса в полугидрат $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$. Низкообжиговым гипсовым вяжущим являются: строительный, формовочный и высокопрочный гипс.

Строительный гипс получают путем термической обработки гипсового камня с последующим (или предшествующим обжигу) помолом в тонкий порошок.

При нагревании гипсового камня до 150-160°С в варочных котлах, вращающихся печах, сушильных барабанах или других аппаратах происходит дегидратация двухводного гипса, содержащегося в природном камне, с поглощением тепла и частичным удалением воды в виде перегретого пара



В этих условиях образуются мелкие кристаллы полуводного сернокислого кальция β-модификации $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$, обладающие повышенной водопотребностью. Твердение полуводного гипса, затворенного водой, происходит по реакции:



Для образования гипсового теста нормальной густоты требуется 50-70% воды от массы гипса.

Формовочный гипс получают в основном теми же способами, что и строительный, но из более чистого сырья и имеет более тонкий помол. Сроки схватывания примерно такие же, как и у строительного гипса. Предел прочности при растяжении образцов, высушенных до постоянного веса, – не менее 25 кг/см². Объемное расширение изделий при затвердевании ограничено 0,15%. Формовочный гипс применяется в виде теста для изготовления различных форм в керамической промышленности, а также для архитектурных деталей

Высокообжиговые гипсовые вяжущие получают термической обработкой высокопрочного гипсового камня в герметичных аппаратах под давлением пара.

Он состоит из α-модификации полуводного сульфата Са, более активной, чем β-модификация. В связи с этим прочность этого гипса при сжатии составляет 15-25 МПа, что значительно превышает прочность строительного гипса (примерно в шесть раз). Из высокопрочного гипса изготавливают элементы стен и сборных перегородок, камни для стен.

При гидратации 1 кг β-полугидрата Са выделяется 133 кДж тепла. Так

как растворимость полугидрата Са в воде 8 г/л (считая на $CaSO_4$), а двугидрата – 2 г/л, то вскоре после затворения строительного гипса водой создаются условия для образования в перенасыщенном растворе зародышей кристаллов двугидрата Са. Схватывание (загустевание) гипсового теста начинается с образования рыхлой пространственной коагуляционной структуры, в которой кристаллики двугидрата связаны слабыми ван-дер-ваальсовыми силами молекулярного сцепления. После схватывания происходит твердение, обусловленное ростом кристаллов новой фазы, их срастанием и образованием кристаллизационной структуры.

Другие свойства гипса:

- водостойкость – способность не разрушаться в насыщенном водой состоянии, характеризуется коэффициентом размягчения гипсовых вяжущих 0,3-0,8, не водостойкий;

- морозостойкость – способность материала выдерживать попеременно замораживание и оттаивание в воде комнатной температуры, очень низкая;

- воздухоустойкость, высокая;

- огнестойкость – способность материала выдерживать воздействие открытого огня в течение определённого времени, высокая (разрушается через 6 – 8 часов прогрева).

Изготовленные гипсовые изделия сушат при температуре 60-70 °С, что повышает прочность срастания кристаллов и самих изделий вследствие удаления пленочной воды. Для уменьшения количества воды затворения в гипсовые растворы вводят пластифицирующие добавки, применяют метод интенсивного уплотнения.

Гипсовые вяжущие используются для изготовления гипсовых деталей и гипсобетонных изделий – перегородочных панелей, сухой штукатурки, для приготовления штукатурных растворов (внутренняя штукатурка) и получения гипсоцементно-пуццолановых вяжущих (ГЦПВ). Нередко при применении быстрохватывающегося гипса требуется замедлить схватывание. С этой целью в воду затворения добавляют животный клей или СДБ. Эти добавки адсорбируются на частицах гипса и образуют адсорбционную пленку, затрудняющую растворение полугидрата и начало его схватывания.

В процессе твердения гипсовый раствор немного увеличивается в объеме, что благоприятствует изготовлению архитектурных деталей способом литья.

Магнезиальные вяжущие вещества – каустический магнезит и каустический доломит – тонкие порошки, главной составной частью которых является оксид магния.

Каустический магнезит сравнительно быстро твердеет. Схватывание его должно наступать не ранее 20 минут, а конец – не позднее 6 часов с момента затворения. В соответствии с нормами установлены 3 марки каустического магнезита: 400, 500, 600. Марки определяют по показателям прочности при сжатии образцов-кубов из жесткого трамбованного раствора состава 1:3 (по массе) через 28 суток воздушного твердения.

Каустический доломит получают путем обжига при температуре 650-

750°С природного доломита с последующим тонким измельчением продукта. При температуре обжига остается в инертном виде как балласт, из-за чего активность каустического доломита ниже, чем магнезита. Марки каустического доломита – 100-300.

Магнезиальные вяжущие затворяют не водой, а водными растворами солей сернистого или хлористого магния. Чаще всего используют хлористый магний. Это ускоряет твердение и значительно повышает прочность, так как наряду с гидратацией оксида магния происходит образование гидрохлорида магния – $MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$. При затворении водой оксид магния гидратируется очень медленно.

Магнезиальные вяжущие отличаются высокой прочностью, достигающей при сжатии 600-1000 кгс/см² (60-100 МПа), хорошо сцепляются с деревом, поэтому их можно применять для изготовления фибролита и магнезиально-опилочных (ксилолитовых) полов – монолитных и плиточных. Из-за того, что магнезиальные вяжущие сабо сопротивляются действию воды, их можно использовать при твердении на воздухе с относительной влажностью не более 60 %. Так как каустический магнезит легко поглощает влагу и углекислоту воздуха, образуя гидрат оксида магния и углекислый магний, хранить его надо в герметичной таре.

Применяют магнезиальные вяжущие также при производстве изделий для внутренней облицовки помещений, для устройства оснований под чистые полы, скульптурные изделия.

Воздушная строительная известь. Известь, как и гипс, древнейшее вяжущее вещество. Её применяли в строительстве за несколько тысяч лет до нашей эры. Воздушная известь – продукт умеренного обжига кальциево-магниевого карбонатных горных пород: мела, известняка, доломита с содержанием глины не более 6 %. Основной составляющей известняка является карбонат кальция $CaCO_3$. Обжигают известняк при температуре 900-1200°С до возможно более полного удаления CO_2 по реакции $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$.

Гашение извести сопровождается разогревом массы вследствие выделения значительного количества тепла $CaO + H_2O = Ca(OH)_2 + 950 \text{ кДж}$. В процессе гашения куски негашеной извести самопроизвольно диспергируются, распадаясь на тонкие частицы размером в несколько микронов (тоньше, чем цемент). Воздушная известь является единственным вяжущим веществом, которое превращается в тонкодисперсное вещество химическим диспергированием.

Большая удельная поверхность частиц $Ca(OH)_2$ обуславливает большую водоудерживающую способность и пластичность известкового теста. При отстаивании известковое тесто содержит около 50% твердых частиц $Ca(OH)_2$ и 50 % воды. Каждая частица окружена тонким слоем адсорбированной воды, играющей роль своеобразной гидродинамической смазки.

Ценным свойством при изготовлении строительных растворов является высокая пластичность известкового теста в смеси с песком.

Механизированное гашение производят в известегасильных машинах,

что ускоряет процесс и повышает качество известкового теста. На небольших стройках комовую известь сначала гасят в творилах и известковое тесто через сетку сливают в известегасильную яму, в которой завершается гашение. Известковое тесто выдерживают в яме не менее двух недель. Нельзя применять известковое тесто, в котором осталась непогасившаяся известь, так как её гашение в штукатурке и кладке вызовет растрескивание затвердевшего известкового раствора.

В зависимости от количества воды, добавляемой к комовой извести, можно получить известковое тесто или гидратную известь (пушонку). Гашение извести в пушонку осуществляют в гидрататорах непрерывного действия, в которых выделяющееся тепло и водяные пары используют для превращения комовой извести в тончайший рыхлый порошок объемной массой 400-450 кг/м³. При гашении в пушонку известь увеличивается в объеме в 2-3,5 раза.

Известь как строительный раствор, то есть в смеси с песком и другими заполнителями широко применяется в строительстве. На воздухе известковый раствор постепенно отвердевает под влиянием двух одновременно протекающих процессов:

- высыхание раствора, сближение кристаллов $Ca(OH)_2$ и их срастание;
- карбонизация извести под действием углекислого газа, который в большом количестве содержится в воздухе $Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$.

Образующийся карбонат кальция срастается с кристаллами $Ca(OH)_2$ и упрочняет известковый раствор. При карбонизации выделяется вода, поэтому штукатурку и стены, в которых используются известковые растворы, подвергают сушке.

Строительные растворы и бетоны, приготовленные на молотой негашеной извести, быстро схватываются и отвердевают вследствие гидратационного твердения негашеной извести.

При водоизвестковом отношении 0,9-1,5 кристаллы гидроксида Ca, получившиеся при гидратации CaO непосредственно в материале ($Ca \cdot H_2O$), срастаются между собой и образуют прочный кристаллический сросток. Саморазогревание материала (раствора или бетона) способствует ускорению твердения и росту прочности раствора, что особенно важно при зимних работах (каменной кладке, штукатурке). Во избежание чрезмерного разогрева нужно позаботиться об отводе излишнего экзотермического тепла. При этом от гашения извести трещин не образуется, а воздушная известь ведет себя как быстросхватывающееся и быстротвердеющее вяжущее вещество.

В молотую негашеную известь и гидратную известь (пушонку) разрешается вводить тонкомолотые минеральные добавки: доменный и топливный шлаки, золы, известняк. Продукт совместного помола негашеной извести и карбонатной породы называется карбонатной известью. Молотую негашеную известь обычно используют сразу после помола, так как она теряет свои свойства вследствие поглощения влаги из воздуха.

В зависимости от содержания оксида магния воздушная известь разделяется на:

- кальциевую ($MgO \leq 5\%$);
- магнезиальную ($MgO = 5 - 20\%$);
- высокомагнезиальную или доломитовую ($MgO = 20 - 40\%$).

Важными показателями качества извести является активность – процентное содержание оксидов, способное гаситься; количество непогасившихся зерен (недожог или пережог); время гашения.

В зависимости от времени гашения извести всех сортов различают: быстрогасящуюся известь, со временем гашения до восьми минут; среднегасящуюся, (не более 25 минут), и медленногасящуюся, (более 25 минут).

Строительные растворы на воздушной извести имеют невысокую прочность. Так, известковые растворы через 28 суток воздушного твердения имеют предел прочности при сжатии: на гашеной извести – 0,4-1,0 МПа, на молотой негашеной извести – до 5,0 МПа. Сорт воздушной извести устанавливают не по прочности, а по характеристике её состава. Чем качественней исходный известняк (меньше глинистых и др. примесей), тем выше активность извести, быстрее происходит её гашение и больше выход известкового теста.

Известково-шлаковые и известково-пуццолановые вяжущие вещества получают, основываясь на способности тонкоизмельченных гранулированных доменных шлаков твердеть при добавке извести. Обычно шлак размалывают совместно с воздушной известью, содержание которой в вяжущем составляет 20-30 %. При помоле добавляют 3-5 % гипса для улучшения процессов твердения. Известково-шлаковые вяжущие схватываются и твердеют медленно, но при термовлажностной обработке твердение ускоряется. Они стойки в пресной воде, но имеют низкую морозостойкость. Используются при изготовлении строительных растворов и в бетонах низких марок.

Известково-пуццолановые вяжущие изготавливают путем совместного помола трепелов, диатомитов и других активных минеральных добавок с известью. При твердении во влажных условиях или в воде образуются низкоосновные гидросиликаты Са, которые способны на воздухе в сухих условиях дегидратироваться, причем прочность изделия может сильно снижаться. Прочность этих вяжущих невелика. Применяются там же, где и известково-шлаковые вяжущие.

Растворимое или жидкое стекло представляет собой коллоидный водный раствор силиката натрия или силиката калия, имеющий желтый или коричневый цвет, плотностью 1,3-1,5 г/см³ при содержании воды 50-70 %. Состав щелочных силикатов выражается формулой $R_2O \cdot mSiO_2$, где R – это натрий или калий, m – модуль жидкого стекла: для натриевого $m = 2,5-3,0$; для калиевого $m = 3,0-4,0$.

Стекло варят из кварцевого стекла и соды в стеклоплавильных печах (как обычное стекло) и когда расплав застывает, образуются непрозрачные твердые куски. Жидкое стекло получают растворением раздробленных кусков в воде при повышенной температуре и давлении 0,6-0,7 МПа.

Натриевое жидкое стекло применяют для изготовления кислотоупор-

ных и жароупорных бетонов, для уплотнения грунтов. Калиевое стекло, более дорогое, применяют преимущественно в силикатных красках.

Жидкое стекло относится к воздушным вяжущим веществам. Силикаты натрия и калия в воде подвергаются гидролизу:



Выделяющийся гель кремниевой кислоты $SiO_2 \cdot 2H_2O$ обладает вяжущими свойствами. Водный раствор имеет щелочную реакцию. Для ускорения твердения жидкого стекла к нему добавляют кремнефтористый натрий Na_2SiF_6 , ускоряющий выпадение геля кремниевой кислоты и гидролиз жидкого стекла.

Автоклавные вяжущие – это вяжущие, которые твердеют при гидро-термальной обработке под давлением (автоклавирование), которая длится 6 – 8 ч при давлении насыщенного пара в 9 – 13 атм.

В группу вяжущих материалов входят известково-кремнеземистый, нефелиновый, известково-шлаковый, известково-золенный цементы.

Автоклавные вяжущие являются местными материалами, получаемыми в основном от использования отходов промышленности местных предприятий. В сравнении с традиционными вяжущими, имеют небольшое распространение в строительстве. По механическим свойствам имеют более низкие значения при прочих равных условиях с традиционными материалами.

Применяют для изготовления разнообразных материалов:

- пористых (газосиликат, пеносиликат) – для теплоизоляции элементов наружных стен и покрытий зданий;
- плотных – для конструкционных элементов.

3.3. Гидравлические вяжущие вещества.

Гидравлическая известь – продукт умеренного обжига (не до спекания) мергелистых известняков, содержащих от 6 до 20 % глинистых примесей. Обычный интервал температур обжига составляет 900-1100°C, что зависит от состава сырья. Продукт обжига содержит не только свободную известь, но и химические соединения с оксидами глины: силикаты Ca_2SiO_2 , алюминаты $2CaO \cdot Al_2O_3$, ферриты кальция $2CaO \cdot Fe_2O_3$. Полученную комовую гидравлическую известь подвергают помолу в мельницах для получения тонкомолотой негашеной извести.

При взаимодействии с водой силикаты и алюминаты в извести остаются практически негидратированными. Только при гашении этой извести в тесто постепенно образуются гидросиликаты и гидроалюминаты кальция.

Для характеристики гидравлической извести пользуются модулем основности (*om*):

$$om = \frac{\% CaO}{\% (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)}.$$

Для сильногидравлической извести модуль основности равен 1,7-4,5, а

для слабогидравлической – 4,5-9,0.

Модуль *от* характеризует способность извести к твердению в воде. При значении *от* > 9,0 известь является типично воздушным вяжущим веществом.

Гидравлическая известь не обладает высокой прочностью. Прочность образцов из раствора состава 1:3 (И:П) при сжатии должна быть 2-2,5 МПа через 28 суток комбинированного хранения (7 суток во влажном воздухе и 21 сутки – в воде).

В настоящее время гидравлическая известь имеет ограниченное применение. Используется она для изготовления растворов и бетонов невысокой прочности, для кладки в сырых местах, в малоэтажном строительстве.

Романцемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким помолом обожженных не до спекания (900 °С) известняковых и магнезиальных мергелей, содержащих 25 % и более глины. Образующиеся при обжиге низкоосновные силикаты и алюминаты кальция придают романцементу гидравлические свойства.

Получают романцемент помолом в шаровых мельницах продуктов обжига совместно с гипсом (3-5 %) и активными минеральными добавками (10-15 %). Схватывание и твердение романцемента обусловлено гидратацией силикатов и алюминатов кальция, образовавшихся при обжиге. Романцемент выпускают трех марок: 2,5; 5 и 10 (МПа), применяется при изготовлении строительных растворов, бетонов, бетонных камней. В настоящее время романцемент практически не используется, так как его полностью заменил портландцемент.

3.4. Портландцемент – состав, способы изготовления, свойства

Портландцемент – продукт тонкого измельчения клинкера, получаемого в результате равномерного обжига до спекания природного сырья (мергеля) или искусственной однородной сырьевой смеси, содержащей известняк и глину, с добавлением при помолу гипсового камня в количестве до 3,5 %.

Сырьем для производства портландцемента служат известняки с высоким содержанием Са (мел, мергели, плотный известняк) и глинистые породы, содержащие SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . На изготовление одной тонны цемента расходуется около 1,5 тонн минерального сырья. Соотношение между карбонатами и глинистыми компонентами сырьевой смеси примерно 75 % известняка и 25 % глины. Кроме того, в сырьевую смесь вводят добавки, корректирующие химический состав, регулирующие температуру спекания смеси и кристаллизацию минералов клинкера. Например, ввод добавки трепела или опки повышает содержание SiO_2 . Добавка колчеданных огарков увеличивает содержание Fe_2O_3 . Побочные продукты промышленности широко используют при производстве портландцемента. Весьма ценным сырьем являются доменные шлаки, нефелиновый шлам – побочный продукт производства глинозема и др.

Производство портландцемента – сложный технологический и энерго-емкий процесс, включающий:

- добычу в карьере и доставку на завод сырьевых материалов;
- приготовление сырьевой смеси;
- обжиг сырьевой смеси до спекания (получение клинкера);
- помол клинкера с добавкой гипса (получение портландцемента);
- маганизирование готового продукта.

Приготовление сырьевой смеси осуществляется сухим, мокрым и комбинированным способами.

Сухой способ заключается в измельчении и тесном смешении сухих сырьевых материалов (рисунок 3.6).

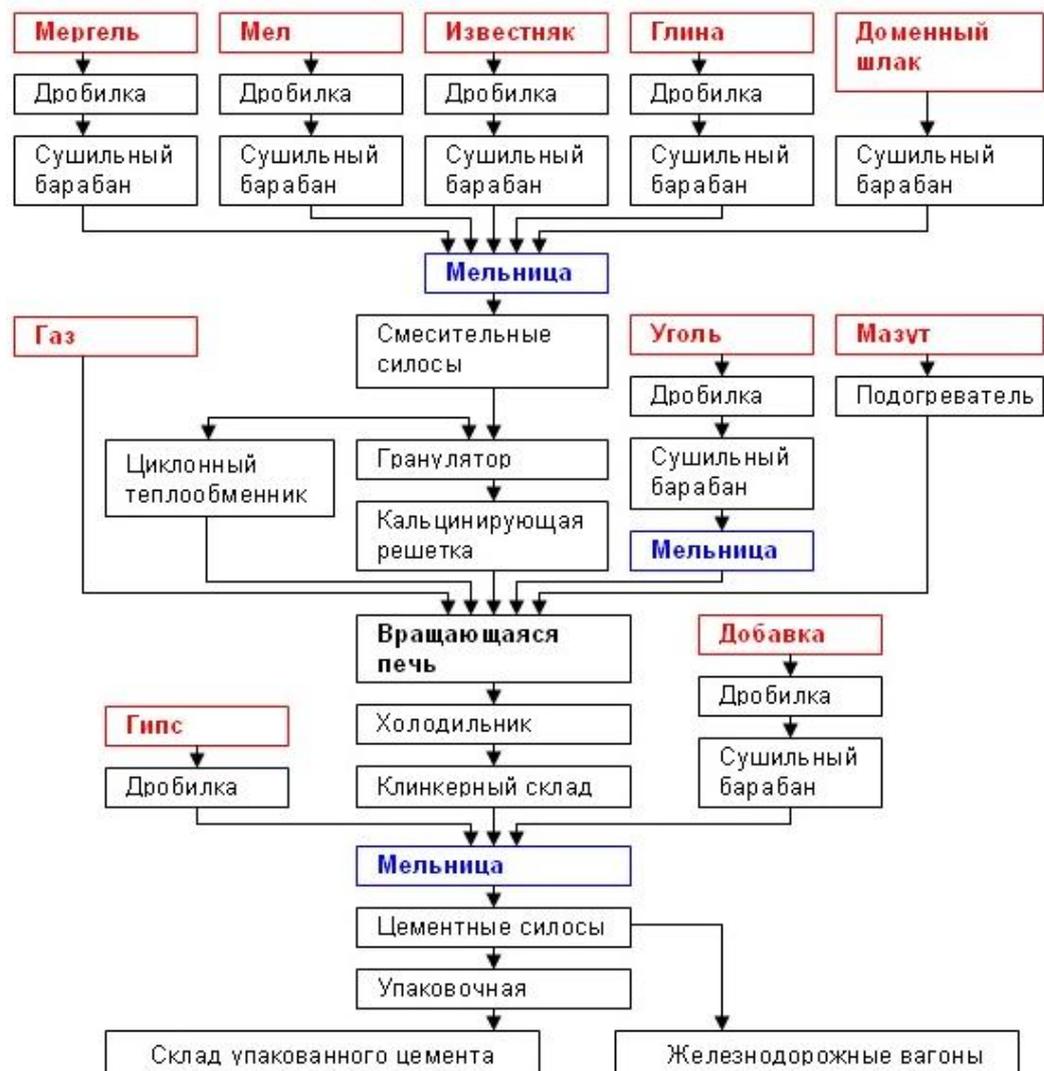


Рисунок 3.6 – Схема сухого способа производства портландцемента

Сырьевая смесь получается в виде минерального порошка, называемого сырьевой мукой. Тонкое измельчение известняка и глины осуществляется в трубных мельницах, которые совмещают помол и сушку сырьевых материалов до остаточной влажности 1-2 %. Сырьевые мельницы работают по замкнутому циклу.

Установка включает сепараторы, отделяющие крупную фракцию сырьевой муки и возвращающие её в мельницу для помола. Так повышается тонкость помола сырьевой смеси и качество обжигаемого из нее клинкера. При сухом способе производства цемента затраты тепла на обжиг клинкера в 1,5-2 раза меньше, чем при мокром способе. Ввиду технико-экономических преимуществ сухой способ производства цемента наиболее выгоден при использовании известняка и глины с невысокой влажностью (10-15 %), однородного состава и физической структуры.

Мокрый способ (рисунок 3.7) применяют, если мягкое сырье имеет значительную влажность (мел, глина).

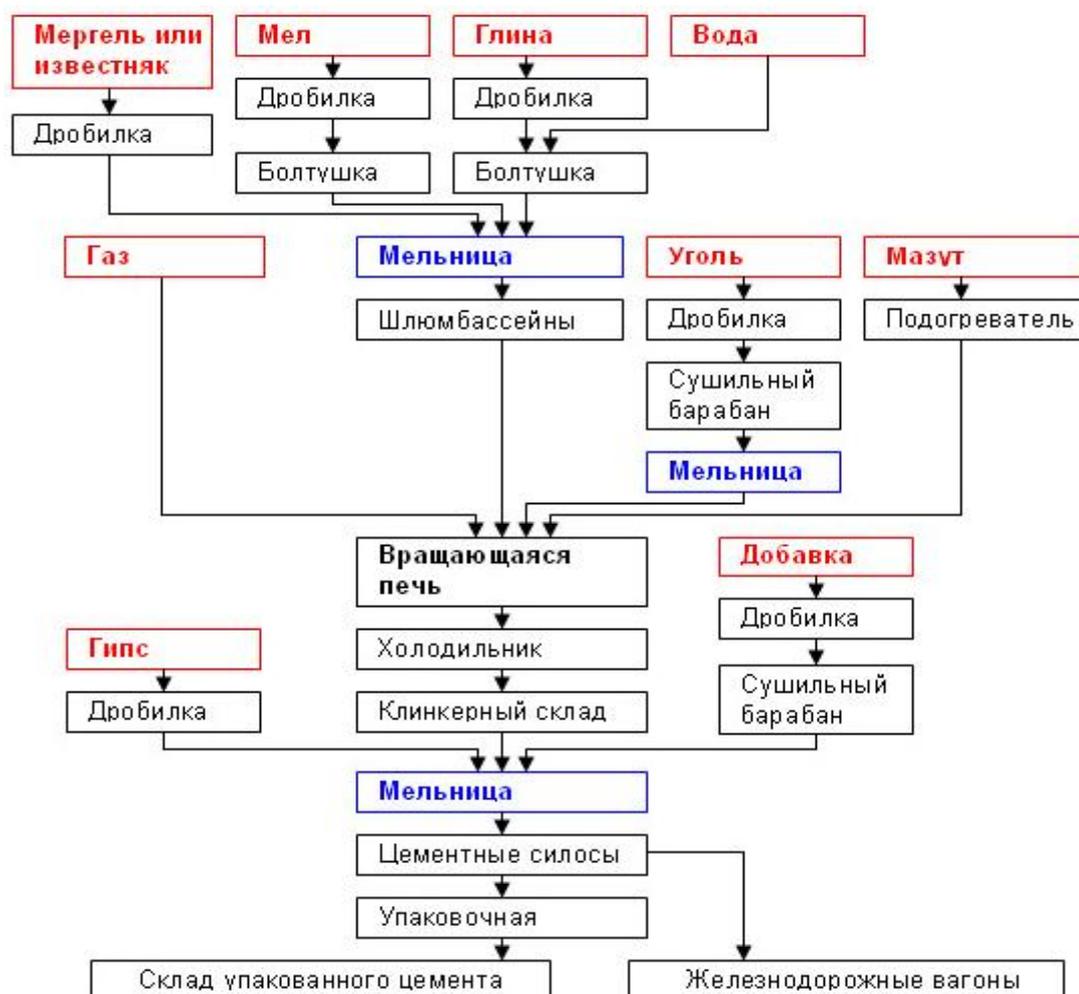


Рисунок 3.7 – Схема мокрого способа производства портландцемента

Тонкое измельчение и смешение исходных материалов осуществляется в водной среде. Сырьевая смесь получается в виде текучей массы – шлама с большим содержанием воды (35-45 %). Глина перерабатывается в суспензию в глиноболтушках. Известняк после дробления направляется на совместный помол с глиняным шламом в шаровую мельницу через весовые дозаторы. Совместное измельчение обеспечивает тщательное смешение исходных материалов и получение однородной сырьевой смеси. Помол производят до остатка на сите № 008 не более 8-10 %, следовательно, примерно 90 % частиц

смеси имеет размер менее 80 микрон.

Из мельниц известняково-глиняный шлам перекачивают насосами в шлюмбассейны, где усредняют химический состав. Применение разжижителей (СДБ и других) позволяет снизить влажность шлама. Однако это все же не устраняет главный недостаток мокрого способа производства цемента – высокую энергоемкость процесса получения клинкера.

Применение комбинированного способа дает возможность на 20-30 % снизить расход топлива по сравнению с мокрым способом (рисунок 3.8).

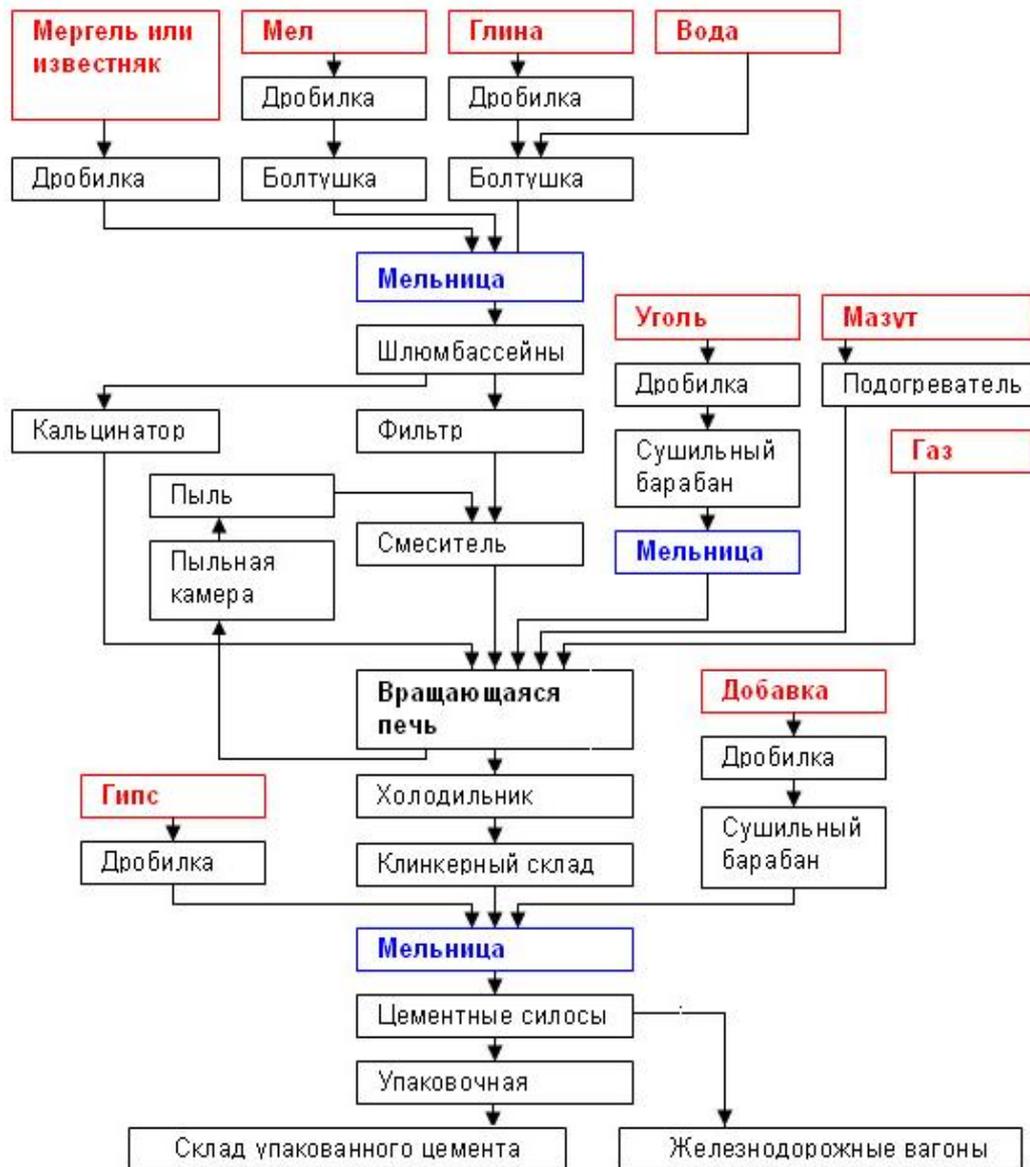


Рисунок 3.8 – Комбинированный способ производства портландцемента

Сущность способа – приготовленный по мокрому способу шлам обезвоживается и из него изготавливаются гранулы для обжига. Однако при этом возрастает расход электроэнергии.

Обжиг гранул осуществляется во вращающихся печах, которые представляют собой длинные, расположенные наклонно цилиндры, сваренные из листовой стали с огнеупорной футеровкой внутри. Диаметр печи 5-7 м, длина

95, 185 и 230 м.

Печи, работающие по сухому способу, имеют размеры 95х7 м, производительность – 3000 т/сут. Расход тепла на обжиг – 3400 кДж/кг. Расход тепла при мокром способе производства цемента – 5600 кДж/кг. Для улучшения теплообмена внутри печи ближе к холодному концу, устраивают цепные завесы, устанавливают теплообменники различных конструкций.

Вращающиеся печи работают по принципу противотока. Сырье в виде порошка или шлама подается автоматическим питателем в печь со стороны её холодного конца. Со стороны горячего конца вдувается топливо, сгорающее в виде факела на протяжении 20-30 м длины печи. Горячие газы поступают навстречу сырью. Печь вращается со скоростью 1-2 об./мин. Сырье медленно движется к нижнему (горячему) концу, проходя различные температурные зоны.

Помол клинкера производится в трубных мельницах, работающих по открытому или замкнутому циклу. Мельница – стальной барабан, облицованный внутри стальными броневыми плитами и разделанный дырчатыми перегородками на 2-4 камеры. Размер мельниц – 3,95×11,00 м, производительность – 100 т/час и 4,6×16,4 м, производительностью 135 т/час.

Материал измельчается под действием загруженных в барабан мелющих тел – стальных шаров (камеры грубого помола) и цилиндров (камеры мелкого помола). При вращении мельницы мелющие тела поднимаются на некоторую высоту и падают, дробя и истирая зерна материала. При работе по открытому циклу мельница работает «на приход», то есть материал непрерывно поступает со стороны камер грубого помола через полую ось, а измельченный материал выходит из камеры тонкого помола и далее транспортируется в силосы.

Замкнутый цикл производства включает помольный агрегат и центробежный сепаратор, отделяющий крупные зерна, которые возвращаются на домол. Помольные установки замкнутого цикла дают возможность тонко измельчить клинкер ($S_{уд.} = 4000 - 5000 \text{ см}^2/\text{г}$).

При помоле к клинкеру добавляют природный гипс, служащий для замедления схватывания портландцемента.

Готовый портландцемент – очень тонкий порошок темно-серого или зеленовато-серого цвета. При выходе из мельницы он направляется пневмотранспортом (цементные насосы) для хранения в силосы – железобетонные банки диаметром 8-15 м и высотой 25-30 м. Емкость силосов от 4000 до 10000 тонн. Цемент в силосах выдерживают до его охлаждения и гашения остатков свободного CaO (под действием влаги воздуха). Из силосов цемент выгружается в автоцементовозы, железнодорожные вагоны. Часть цемента упаковывается в мешки (по 50 кг).

Свойства портландцемента находятся в зависимости от качества клинкера. Добавки, вводимые в цемент, лишь регулируют его свойства. Качество клинкера зависит от:

– его химического и минерального состава;

- тщательности подготовки сырьевой смеси;
- условий проведения обжига;
- режима охлаждения клинкера.

Клинкер получают в виде спекшихся гранул размером 10-40 мм, имеющих сложную микроструктуру.

Химический состав клинкера выражает содержание оксидов, в процентах по массе. Главными оксидами являются: CaO – 63-66 %; SiO_2 – 21-24 %; Al_2O_3 – 4-8 %; Fe_2O_3 – 2-4 %, что в сумме составляет 95-97 %.

В качестве основы портландцемента рассматриваются четыре минерала, полученные в результате всех стадий производства цемента:

- C_3S трёхкальциевый силикат $3CaO \cdot SiO_2$;
- C_2S двухкальциевый силикат $2CaO \cdot SiO_2$;
- C_3A трёхкальциевый алюминат $3CaO \cdot Al_2O_3$;
- C_4AF четырёхкальциевый алюмоферит $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$.

Клинкерные минералы не являются чистыми соединениями, а представляют собой смеси, содержащие в незначительном количестве компоненты других минералов в виде смешанных кристаллических соединений; это относится и к остальным химическим примесям клинкера, которые не могут образовать самостоятельных фаз. Поэтому, чтобы отличать чистые соединения от клинкерных минералов, основные минералы клинкера C_3S и C_2S названы «алит» и «белит».

Алит C_3S является основным клинкерным минералом, определяющим прочность цемента. Из шести известных модификаций C_3S в клинкере возникают только две высокотемпературные модификации, которые стабилизируются путем включения атомов примесей. Третья модификация – триклинная – также изредка встречается.

Белит главным образом представляет собой β -форму C_2S . При температуре спекания клинкера, превышающей 1420С, образуется α - C_2S , а при температуре до 1420 С – α' - C_2S . Последняя форма во время охлаждения клинкера при температуре 670 С превращается в метастабильный β - C_2S .

При дальнейшем медленном охлаждении из β - C_2S может образоваться стабильная γ -форма. Этот процесс протекает с увеличением объема на 10% и при определенных условиях может привести к рассыпанию клинкера. Быстрое охлаждение клинкера и наличие примесей препятствует переходу белита в гидравлически инертную γ -фазу, снижающую его качество. Белит твердеет значительно медленнее алита, но в конце концов достигает такой же прочности, как алит.

Кроме оксидов в портландцементе в небольших количествах в виде различных соединений могут присутствовать MgO , CO_3 , Na_2O , K_2O , TiO_2 , Cr_2O_3 , P_2O_5 .

Технические характеристики портландцемента:

– минеральный состав – выражает содержание в клинкере главных минералов, определяется с помощью оптической и электронной микроскопии, рентгенофазового анализа, микронзондирования и другими методами;

– **вещественный состав** – выражает содержание в цементе основных компонентов: клинкера, гипса, добавок и приводится в паспорте на цемент;

- **тонкость помола** – оценивают путем рассеивания пробы цемента через сито с сеткой № 008 (размер ячейки в свету 0,08 мм), должна быть такой, чтобы через указанное сито проходило не менее 85 % массы цемента;

- **плотность** – портландцемента без минеральных добавок составляет 3,05-3,15 г/см³, насыпная плотность равна 1,3 г/см³;

- **водопотребность** – цемента определяется количеством воды (в % от массы цемента), которое необходимо для получения цементного теста нормальной густоты – 22-28 %;

- **нормальной густотой** – такая подвижность цементного теста, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5-7 мм до пластинки, на которую установлено кольцо;

- **сроки схватывания и равномерность изменения объема** цемента определяются в тесте нормальной густоты. Сроки схватывания определяют с помощью прибора Вика путем погружения иглы в тесто нормальной густоты. *Началом схватывания* считают время, прошедшее от начала затворения до того момента, когда игла не доходит до пластинки на 1-2 мм. *Конец схватывания* – время от начала затворения до того момента, когда игла погружается в тесто не более, чем на 1-2 мм. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 минут, в конец схватывания – не позднее 10 часов от начала затворения. Для получения нормальных сроков схватывания при помоле клинкера вводят добавку двуводного гипса – до 3,5 %. Замедление схватывания объясняется отложением на зернах цемента тонких пленок гидросульфоалюмината Са. Эти пленки замедляют диффузию воды к цементным зернам, поэтому скорость их гидратации уменьшается.

Равномерность изменения объема определяется выдерживанием в кипящей воде в течение трех часов образцов-лепешек, изготовленных из теста нормальной густоты через 24 часа предварительного твердения. Лепешки не должны деформироваться. Причина неравномерного изменения объема цементного камня – местные деформации, вызываемые расширениями свободной извести СаО и периклаза MgO вследствие их гидратации.

– **активность и марка** цемента определяются испытанием стандартных образцов-балочек 4×4×16 см, изготовленных из цементно-песчаной растворной смеси состава 1:3 и В/Ц = 0,4 через 28 суток твердения (1 суток во влажном воздухе, а 27 суток – в воде комнатной температуры). Образцы испытывают вначале на изгиб, а затем – на сжатие.

Активностью называют предел прочности при осевом сжатии половинок балочек в возрасте 28 суток. Допускается ускоренное испытание на определение активности в возрасте 3 и 7 суток. Кроме активности по стандарту определяют расчетную активность портландцемента. Это - предел прочности при сжатии цементного камня оптимальной структуры, полученного и испытанного с учетом реальных условий. Портландцемент подразделяют на марки: М 400, 500, 550, 600 (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Требования к маркам, и разновидности портландцемента

Наименование цемента	Марка цемента	Предел прочности при изгибе, кгс/см ² (МПа) в возрасте		Предел прочности при сжатии, кгс/см ² (МПа) в возрасте	
		3	28	3	28
Портландцемент	400	-	55(5,5)	-	400(40)
	500	-	60(6,0)	-	500(50)
	550	-	62(6,2)	-	550(55)
	600	-	65(6,5)	-	600(60)
Быстротвердеющий портландцемент	400	40(4,0)	55(5,5)	250(25)	400(40)
	500	45(4,5)	60(6,0)	280(28)	500(50)
Шлакопортландцемент	300	-	45(4,5)	-	300 (30)
	400	-	55(5,5)	-	400(40)
	500	-	60(6,0)	-	500(50)

- в ы д е л е н и е т е п л а при твердении. Процесс гидратации цемента сопровождается выделением тепла. Тепловыделение внутренней части массивных конструкций может повысить температуру на 40 °С. Снаружи бетон сооружения остывает быстрее, чем внутри. Вследствие этого, возникают температурные напряжения, которые являются причиной появления в бетоне трещин. Поэтому рекомендуется использовать низкотермичные цементы, снижающие расход вяжущего и применять искусственное охлаждение. Однако при бетонировании в холодное время года по способу термоса выделяющееся тепло способствует поддержанию положительной температуры бетона.

Портландцемент применяют, главным образом, для бетонных и железобетонных конструкций в наземных, подземных и подводных сооружениях, в том числе и таких, которые подвержены переменному замораживанию и оттаиванию. В цементных растворах необходимо предусматривать использование водоудерживающих добавок: извести, глины, цемянки, золы и других.

Для удовлетворения специфических требований строительства (стойкость к агрессивной среде и других), повышения долговечности сооружений и конструкций, сокращения их стоимости и расхода цемента, используется ряд разновидностей портландцемента.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируется вяжущие вещества?
2. Какие вяжущие вещества относятся к группе воздушных вяжущих?
3. Какие вяжущие вещества относятся к группе гидравлических?
4. Где применяются воздушные и гидравлические вяжущие вещества?
5. Схема сухого способа производства портландцемента.
6. Особенности мокрого способа производства портландцемента.
7. Комбинированный способ производства портландцемента.
8. Чем выражен химический состав клинкера?
9. Перечислите свойства портландцемента.
10. Перечислите технические характеристики портландцемента.
11. Какими значениями оцениваются сроки схватывания цемента?

ЛЕКЦИЯ 4. РАЗНОВИДНОСТИ ЦЕМЕНТОВ, НАПОЛНИТЕЛИ И ДОБАВКИ. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕМЕНТОВ

Вопросы:

- 4.1. Разновидности портландцемента.
- 4.2. Активные минеральные добавки. Инертные добавки и наполнители.
- 4.3. Цементы на основе активных минеральных и инертных добавок. Тампонажные материалы.
- 4.4. Условия применения цементов для бетонных и железобетонных конструкций.
- 4.5. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения цемента.
- 4.6. Пути экономии цемента.

4.1 Разновидности портландцемента

Наряду с обыкновенным портландцементом выпускают значительное количество его разновидностей, которые отличаются повышенной стоимостью и рекомендуются только в тех случаях, когда их специальные свойства могут быть использованы с максимальной эффективностью.

Для получения портландцемента с заданными свойствами используют два пути: изменение минералогического состава и структуры портландцементного клинкера; введение минеральных или органических добавок.

Быстротвердеющий портландцемент обладает более интенсивным, чем обычный, нарастанием прочности в первые несколько суток твердения. Это достигается путем использования клинкера с повышенным содержанием наиболее активных минералов – 50...60% C_3S и 8...12% C_3A , а сумма их – не менее 65%. При этом клинкер более тонко измельчается (до 3500...4000 $см^2/г$ против 2800...3000 $см^2/г$ для обычного портландцемента).

Быстротвердеющий цемент через трое суток набирает прочность не менее 4 МПа на изгиб и 25 МПа на сжатие. Быстротвердеющий цемент целесообразно применять при изготовлении высокопрочных железобетонных изделий и конструкций, а также при возведении сооружений из монолитного бетона при условии отсутствия агрессивных воздействий в процессе их эксплуатации.

Сверхбыстротвердеющий высокопрочный портландцемент (СБТЦ) отличается значительно более высокой ранней прочностью: через 6 часов достигается прочность на сжатие 10 МПа, что в 2 раза превышает показатели прочности быстротвердеющего цемента.

Разновидностью быстротвердеющего является особобыстротвердеющий портландцемент (ОБТЦ), отличающийся не только большей скоростью твердения в начальный период, но и высокой маркой (М600 и выше). ОБТЦ содержит 65...68% C_3S и до 8% C_3A . Его удельная поверхность – 4000...4500 $см^2/г$. В возрасте 1 сутки ОБТЦ достигает прочность 25 МПа.

Сульфатостойкий портландцемент получают при совместном по-

моле клинкера специального состава с гипсовым камнем до 8%. В клинкере для сульфатостойкого портландцемента и его разновидностей должно быть C_3S – не более 50%, C_3A – не более 5%, а сумма C_3A и C_4AF – не выше 22%. Сульфатостойкий портландцемент имеет марку 400. Разновидности этого цемента: *сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками* марок 400 и 500, *сульфатостойкий шлакопортландцемент* марок 300 и 400. Эти цементы применяют при строительстве подземных и подводных частей сооружений, подвергающихся сульфатной коррозии.

Портландцемент с умеренной экзотермией – пониженное содержание наиболее быстро гидратирующихся клинкерных минералов (C_3S) и (C_3A) приводит к замедленному нарастанию прочности цемента с умеренной экзотермией по сравнению с обычным портландцементом, однако на конечную величину прочности оно не оказывает влияния, удельная поверхность цемента должна быть не менее 3200 см²/г.

Пластифицированный портландцемент. Эта разновидность представляет собой продукт помола портландцементного клинкера с гипсовым камнем (3...5%) и с добавлением при помоле около 0,25% пластифицирующей добавки поверхностно-активного вещества (ПАВ) типа лигносульфонатов. Эти добавки, адсорбируясь на поверхности частиц цемента, повышают смачиваемость цемента водой, а также уменьшают трение между зернами цемента, вследствие чего улучшают пластичность смеси. При этом появляется возможность уменьшить в среднем на 10% расход воды, что способствует повышению плотности, прочности и стойкости цементного камня в переменных температурно-влажностных условиях. Пластифицированный портландцемент особенно эффективно используется в дорожном, аэродромном и гидротехническом строительстве.

Гидрофобный портландцемент – продукт помола клинкера, гипсового камня (3-5%) и добавки гидрофобизирующих ПАВ, типа мылонафта, СЖК и др. в количестве 0,05...0,15%. Такие добавки образуют на зернах цемента тончайшие мономолекулярные пленки, уменьшающие смачиваемость цемента водой. В отличие от обычного портландцемента, гидрофобный при длительном хранении (до года) не комкуется и не теряет прочность. При перемешивании бетонной смеси гидрофобные пленки сдираются с поверхности зерен цемента и не препятствуют взаимодействию с водой, обеспечивающему твердение.

Кроме того, гидрофобные добавки повышают качество бетона повышают его морозостойкость, а также водостойкость и водонепроницаемость.

К недостаткам гидрофобного портландцемента, так же как и пластифицированного, следует отнести замедленный рост прочности в начальный период (первые несколько суток) твердения. Но марочная прочность набирается, как и у обычного портландцемента за 28 суток твердения в нормальных условиях.

Гидрофобный портландцемент применяют взамен обычного в тех случаях, когда необходимы его длительное хранение, а также для бетонных и железобетонных наземных, подземных и надводных конструкции, работаю-

щих в условиях циклического замораживания и оттаивания.

Белый и цветной портландцемент получают из сырьевых материалов с минимальным содержанием окрашивающих оксидов (железа, марганца, хрома) – «чистые» известняки или мраморы и белые каолиновые глины. Сырьевую смесь обжигают на беззольном (газовом) топливе. Помол клинкера осуществляют в мельницах, футерованных фарфоровыми плитами с фарфоровыми мелющими телами во избежание попадания в цемент железа или оксидов железа, которые нарушают его белизну. По степени белизны белые цементы подразделяются на 3 сорта (1,2,3).

Цветные портландцементы получают совместным помолом клинкера белого цемента с пигментами (охрой, ультрамарином, окисью хрома др.).

По способу П.И. Боженова можно получать цветные клинкеры, добавляя в сырьевую смесь 0,05...0,1% соединений хрома, марганца и т.д.

Белый портландцемент выпускают марок М400 и М500, и цветные – марок М300, М400 и М500. Их применяют для архитектурно-отделочных работ, скульптурных работ, цветных разделительных полос на автомагистралях и т.п.

4.2. Активные минеральные добавки, инертные добавки и наполнители

Активными минеральными (гидравлическими) добавками (SiO_2 , Al_2O_3) называют природные или искусственные вещества, которые при смешивании в тонкоизмельченном виде с известью придают ей способность к гидравлическому твердению, а при смешивании с портландцементом повышают его стойкость в пресных и сульфатных водах. Применение таких добавок экономически целесообразно, т.к. снижает расход дорогостоящего клинкера.

Среди природных активных минеральных добавок вулканического происхождения распространены пуццоланы, туфы, пемзы и трассы, а из осадочных пород – диатомиты, трепелы, опоки, а также глиежи (естественно обожженные глинистые породы).

К искусственным относятся побочные продукты и отходы промышленности – доменные гранулированные шлаки, топливные шлаки, зола – унос тепловых электростанций, горелые породы, обожжённые глинистые материалы (глиниты, цемянки и т.п.) и другие промышленные отходы.

Активные минеральные добавки, независимо от происхождения, содержат в больших количествах вещества (аморфные кремнезёмы, алюмосиликаты), способные в обычных условиях вступать в химическое взаимодействие с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ цемента или извести.

Инертные – это добавки, которые при нормальных температурных условиях не вступают в реакцию с составляющими бетонной смеси (могут стать химически активными при автоклавной обработке).

Цель использования – изменение зернового состава и плотности смеси и готового бетона. Распространенные инертные минеральные добавки – известняки, глина, кварцевый песок и др.

Наполнитель может существенно изменить водопотребность цемента,

причем тем меньше, чем плотнее и крупнее зерна добавки. Мягкие добавки, отличающиеся высокой водопотребностью, дают худшие результаты. Свойства наполнителя оказывают большое влияние на пластичность и водоудерживающую способность смеси. Тепловыделение и усадочные деформации при добавке наполнителя уменьшаются, а процесс гидратации цементных зерен ускоряется. Зерна наполнителя участвуют в процессе формирования кристаллической структуры цементного камня. На их поверхности гелеобразная фаза уплотняется и кристаллизуется более интенсивно. Наполнитель оказывает модифицирующее влияние на продукты гидратации цементных зерен, развивая отдельные кристаллические формы новообразований.

4.3 Цементы на основе активных минеральных и инертных добавок. Тампонажные материалы

К этой группе гидравлических вяжущих веществ относятся цементы, получаемые совместным помолом портландцементного клинкера или извести и активной минеральной добавки или тщательным смешиванием указанных компонентов после отдельного измельчения каждого из них.

Пуццолановый портландцемент – гидравлическое вяжущее, получаемое совместным помолом клинкера, гипсового камня (2-3%) и активной минеральной добавки (20-40%, в зависимости от вида и происхождения добавки). Сроки схватывания и тонкость помола пуццоланового цемента такие же, как и обычного портландцемента. Однако пуццолановый цемент медленнее набирает прочность в первые несколько суток в нормальных условиях. При повышенных температурах пуццолановый цемент схватывается и твердеет более интенсивно, чем портландцемент. Поэтому изделия и конструкции на этом цементе целесообразно подвергать термообработке. В процессе твердения этот цемент выделяет меньше тепла, что позволяет использовать его для массивных бетонных конструкций, в том числе для гидротехнических сооружений.

При твердении пуццоланового портландцемента активная минеральная добавка химически взаимодействует с $Ca(OH)_2$, связывая его в нерастворимый гидросиликат кальция:



В результате пуццолановый портландцемент оказывается более водостойким, чем обычный портландцемент, а также более стойким в сульфатных водах. Вместе с тем, бетоны и растворы на пуццолановом цементе менее морозостойки, чем на портландцементе. Поэтому пуццолановый портландцемент непригоден для изготовления конструкций, эксплуатируемых в условиях попеременного систематического увлажнения и замораживания или высушивания.

Пуццолановые цементы целесообразно применять для подводных и подземных бетонных и железобетонных конструкций, когда от бетонов требуется большая водонепроницаемость и высокая водостойкость. Пуццолановый портландцемент выпускается марок М200, М300, М400 и М500.

При использовании портландцементного клинкера нормированного минералогического состава, содержащего не более 8% C_3A , получают пуццолановый портландцемент, отличающийся повышенной сульфатостойкостью и несколько большей морозостойкостью. Используется этот цемент для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, гидротехнических сооружений, работающих в условиях сульфатной коррозии, циклического замораживания и оттаивания.

Шлакопортландцемент является разновидностью цементов с активными минеральными добавками, в которых в качестве добавки используют доменный гранулированный шлак, являющийся побочным продуктом при выплавке чугуна из руд. Для гранулирования (превращения в мелкие зерна-гранулы очень пористой структуры), огненно-жидкие шлаки подвергают резкому охлаждению на специальных установках, работающих на принципах мокрой, полусухой или сухой грануляции. По химическому составу доменные шлаки приближаются к портландцементу, однако при тонком измельчении самостоятельно твердеют крайне медленно и обладают очень низкими гидравлическими свойствами. Для получения шлаковых цементов необходимо применять специальные активизаторы типа портландцементного клинкера, извести и др.

Шлакопортландцемент получают совместным помолом клинкера, гипсового камня (до 3,5%) и доменного гранулированного шлака (20 – 80% от массы готового продукта). Разновидностью шлаковых цементов является также *быстротвердеющий шлакопортландцемент*, получаемый с использованием клинкера быстротвердеющего портландцемента с добавлением до 50% шлаков высокой активности.

Шлакопортландцемент выпускается марок М300...М500. По сравнению с обычным, шлакопортландцемент характеризуется медленным нарастанием прочности в начальные сроки. Повышенная температура при достаточной влажности ускоряет его твердение в большей мере, чем портландцемента.

Водостойкость бетонов на шлакопортландцементе выше, чем на обычном портландцементе, приближаясь к пуццолановому. Морозостойкость шлакопортландцемента и стойкость при увлажнении и высушивании выше, чем пуццоланового, однако меньше, чем обычного портландцемента.

Применяют шлакопортландцемент для тех же целей, что и портландцемент, однако с учетом его повышенной водостойкости, пониженного тепловыделения и более низкой морозостойкости.

Глиноземистый цемент. Этот цемент представляет собой быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, получаемое высокотемпературным обжигом сырьевой смеси боксита ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) и известняка ($CaCO_3$). Полученный клинкер полностью отличается от портландцементного и состоит, главным образом, из алюминатов кальция - CA , C_5A_3 и CA_2 . Глиноземистый цемент, получаемый тонким измельчением клинкера, является быстротвердеющим вяжущим: через 5-6 часов прочность глиноземистого цемента может достичь 30% марочной, через одни сутки твердения – порядка 90%, а через

трое суток – марочной прочности. Выпускают глиноземистый цемент трех марок: 40, 50 и 60, что соответствует маркам портландцемента М400, М500 и М600, определяемым в возрасте 28 суток.

Твердение глиноземистого цемента сопровождается выделением большого количества тепла (250 – 370 кДж/кг). Это полезно при зимнем бетонировании, но в массивных сооружениях могут возникать местные перегревы и неравномерные деформации. Изделия на глиноземистом цементе при твердении нельзя нагревать (например, пропаривать), т.к. с повышением температуры его прочность снижается в 2-3 раза (болезнь глиноземистого цемента). После затвердевания глиноземистый цемент выдерживает высокие температуры (1200 – 1400 С⁰), что дает возможность получать на его основе жаростойкие бетоны.

Цементный камень глиноземистого цемента отличается высокой плотностью – пористость его в 1,5 раза выше, чем у портландцемента. Поэтому глиноземистый цемент характеризуется высокой водостойкостью, водонепроницаемостью, морозостойкостью, коррозионной стойкостью в сульфатных и морских водах.

Недостатками глиноземистого цемента являются его высокая стоимость и низкая щелочестойкость.

Алюминатные цементы целесообразно использовать при всех срочных строительных работах, в том числе, аварийных ремонтно-восстановительных, для получения жаростойких расширяющихся и напрягающих цементов.

Нефелиновый цемент. Это безобжиговый высокоактивный вяжущий материал, который получается в результате переработки нефелинового шлама, образующегося в процессе производства глинозема из нефелиновых и нефелино-сиенитовых горных пород.

Состав нефелинового цемента: 80 – 85% шлама, 15 – 20% портландцемента (извести) и 4 – 5% гипса. Прочность бетонов, приготовленных на таком цементе, при нормальном, твердении через 28 суток составляет 100 – 150 кг/см², а к 3 – 6 месяцам достигает 200 – 300 кг/см².

Автоклавная обработка позволяет получить бетоны на нефелиновом цементе прочностью 250 – 300 кг/см² сразу же после запаривания, при этом прочность при изгибе образцов, значительно выше, чем у бетонов на портландцементе.

На основе нефелинового шлама и портландцемента получают смешанные цементы типа шлакопортландцемента, так как и химический, и минералогический состав компонентов позволяет смешивать их в любых пропорциях. Бетон на нефелиновом цементе выдерживает более 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания без видимых разрушений и снижения прочности, стоек к агрессивным средам.

Безусадочные, расширяющиеся и напрягающие цементы. Цементный камень всех без исключения гидравлических вяжущих испытывает усадочные деформации, т.е. уменьшается в размерах при твердении. Это может привести к появлению усадочных трещин и нарушению монолитности сооружений в местах соединения конструкций. В ряде случаев, когда усадоч-

ные деформации недопустимы (заделка швов тубингов туннелей, раструбных труб, облицовок каналов, заделка фундаментальных болтов, заделка трещин и др.), необходимо применять *безусадочный* или расширяющийся цемент, не дающий усадки при твердении или несколько увеличивающийся в объеме при твердении во влажных условиях. Все такие цементы являются смешанными и состоят из основного вяжущего и расширяющейся добавки, которая может включать несколько компонентов. К одним из наиболее эффективных таких цементов относятся получаемые на основе глиноземистого цемента.

Расширяющийся водонепроницаемый цемент (ВРЦ) – этот цемент получают совместным помолом (или тщательным перемешиванием) глиноземистого цемента (около 70%), гипса (около 20%) и отдельно приготовленного высокоосновного гидроалюмината кальция (около 10%). Данный цемент быстро схватывается (от 4 до 15 мин.) и быстро твердеет (через трое суток набирает не менее 30, через 28 суток – не менее 50 МПа). Расширяющийся цемент используют при восстановлении железобетонных конструкций, для гидроизоляции подземных сооружений, заделки трещин, зачеканки стыков трубопроводов и т.п.

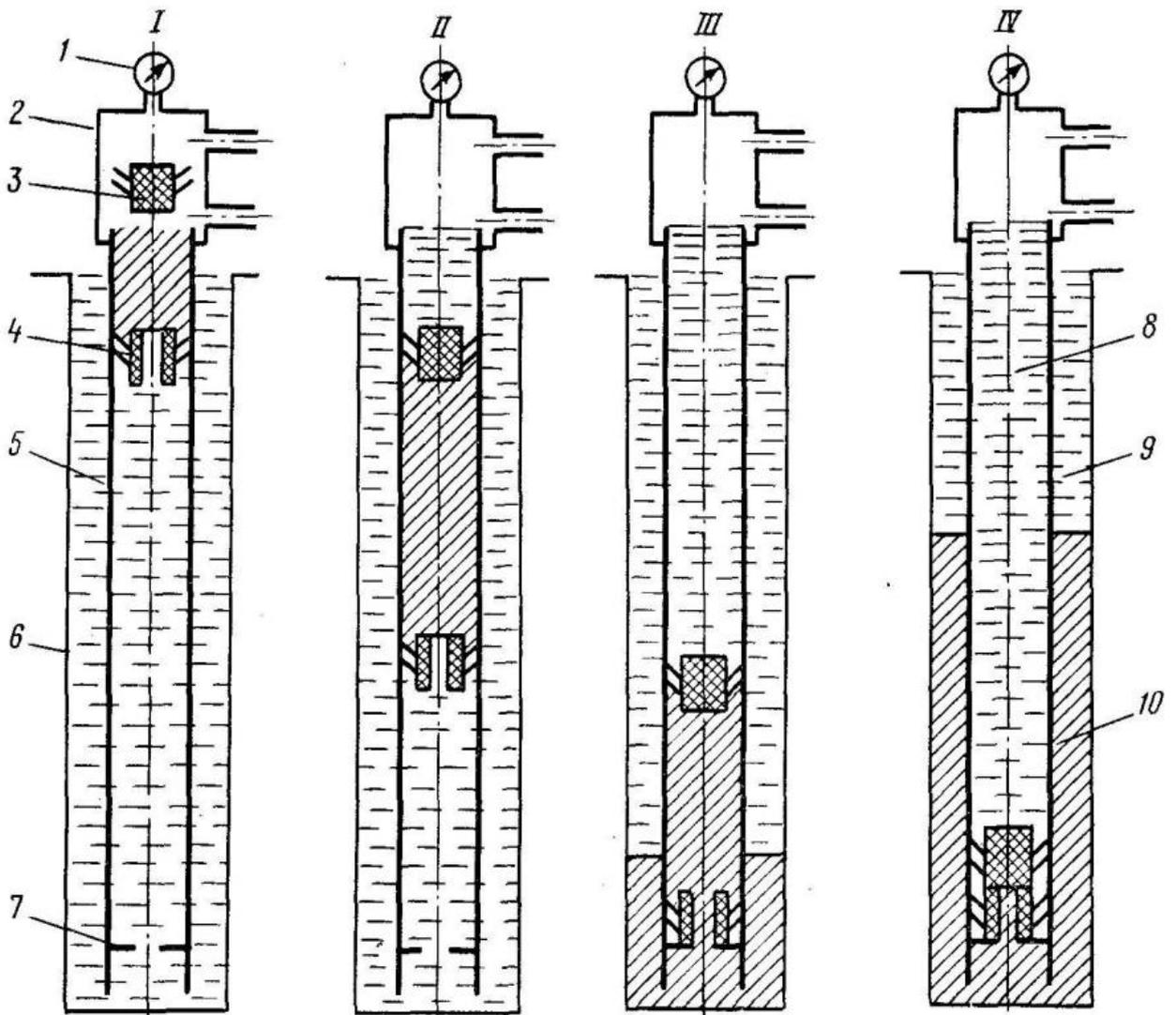
Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент (ГГРЦ) – получают совместным помолом высокоглиноземистых шлаков (примерно 70%) и гипсового камня (до 30%). Это нормально схватывающееся (начало схватывания не ранее 20 минут, конец – не позднее 4 часов) быстротвердеющее гидравлическое вяжущее вещество (через одни сутки для марки 400 достигает 35 МПа и 45 МПа для марки 500). Марки ГГРЦ устанавливают в трехсуточном возрасте. Он предназначен для получения безусадочных и расширяющихся водонепроницаемых бетонов, гидроизоляционных штукатурных растворов, для заделки стыков сборной конструкции, при бурении скважин и т.п.

Напрягающий цемент (НЦ) – представляет собой быстротвердеющее, расширяющееся вяжущее вещество, получаемое совместным помолом силикатного, алюминатного и сульфатного компонентов. Силикатным компонентом (65-75%) служит портландцемент или его клинкер; алюминатным (18-20%) – глиноземистый цемент или его клинкер (либо глиноземистый шлак); сульфатным компонентом (6-15% по SO_3) является строительный гипс или гипсовый камень.

НЦ обладает способностью к значительному (до 4%) расширению. В железобетоне это обеспечивает предварительное напряжение арматуры. С учетом величины достигаемого самоупругения ($кг/см^2$), развиваемого при твердении, установлены марки напрягающего цемента НЦ-10, НЦ-20, НЦ-30, НЦ-40, которые обеспечивают самоупругение от 1,0 до 4,0 МПа (10-40 $кг/см^2$). По прочности в 28 суток напрягающий цемент имеет марки М400 и М500.

Этот цемент применяют для изготовления конструкций из предварительно напряженного железобетона, для производства напорных железобетонных труб и некоторых других тонкостенных водонепроницаемых конструкций.

Тампонажные материалы применяются при ликвидации скважин различного назначения. Тампонаж (цементаж) – это комплекс мер для защиты и сохранения недр (рисунок 4.1), при этом используют материалы, которые при затворении водой образуют суспензии, способные затем превратиться в твердый непроницаемый камень. В зависимости от вида вяжущего применяют растворы на основе: портландцемента; доменных шлаков; известково-песчаных смесей; прочие (белиловые и др.).



I – начало подачи цементного раствора в ствол скважины; *II* – подача порции раствора в скважину, вниз по обсадной колонне; *III* – продавливания тампонажного материала в затрубное пространство; *IV* – завершение процесса продавливания тампонажного материала;

1 – манометр для контроля давления; 2 – головка цементировочная; 3 – пробка верхняя; 4 – пробка нижняя; 5 – цементируемая обсадная колонна; 6 – стенки скважины; 7 – стоп-кольцо; 8 – жидкость для продавливания тампонажного материала; 9 – раствор буровой; 10 – цементный раствор

Рисунок 4.1 – Схема одноступенчатого цементирования скважины

4.4. Условия применения цементов для бетонных и железобетонных конструкций

Поскольку стоимость строительных материалов в общих сметах строительных объектах составляет от 50 до 65 % всех расходов, экономичность строительства во многом предопределяется правильным выбором строительных материалов с учетом затрат на их производство и транспортных расходов, но и в еще в большей степени с учетом их соответствия долговечности объектов. Сказанное в особой степени относится к выбору той или иной разновидности цементов для бетонных и железобетонных конструкций как основного материала современного строительства.

В таблицах 4.1 – 4.3 в обобщенном виде представлены рассмотренные в данной лекции характерные особенности разновидностей цементов и рациональные области их применения.

При оценке качества и выборе необходимого для конкретных целей цемента, кроме прочностных показателей принимают во внимание деформативность, тепловыделение, морозостойкость, коррозионную стойкость и другие свойства. Перечень показателей качества цемента по ГОСТ 30525-97 представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Показатели назначения цементов

Показатель качества, ед. изм.	Вид цемента	Нормативный документ
Прочность на сжатие и (или) изгиб, МПа	Все цементы	ГОСТ 310.4
Вещественный состав	Все цементы	Методика головной организации
Равномерность изменения объема	Все цементы, кроме тампонажного	ГОСТ 310
Самонапряжение, МПа	Напрягающие	ТУ 46854090
Линейное расширение, %	Безусадочные, расширяющиеся, напрягающие	ТУ 46854090, ГОСТ 11052
Тепловыделение, кал/г	Для гидротехнических сооружений	ГОСТ 310.5-88 (1992)
Минералогический состав, %	Сульфатостойкие, тампонажные, цементы для труб, шпал, опор, мостовых конструкций	ГОСТ 22266
Удельная эффективность естественных радионуклидов, Бк/кг	Все цементы	ГОСТ 30108
Сроки схватывания	Все цементы	ГОСТ 310.3
Нормальная густота (водопотребность), %	Все цементы	ГОСТ 310.3
Огнеупорность	Высокоглиноземистые цементы	ГОСТ 4069

Кроме указанных показателей качества, цементы, в зависимости от условий их применения, могут оцениваться по таким показателям, как гидро-

фобность, сульфатостойкость, водонепроницаемость, коррозионная стойкость и другие.

Сведения о нормативной документации по выпускаемым промышленностью цементам представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Регламентация цементов нормативными документами

Вид клинкера	Вид цемента	Марка (класс)	Нормативный документ
Портландцементный	Портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент	M300...M600	ГОСТ 10178-85
	Сульфатостойкий портландцемент, сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками, сульфатостойкий шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент	M300...M500	ОСТ 22266-94
	Портландцемент белый	M400; M500	ГОСТ 965-89
	Портландцементы цветные	M300...M500	ГОСТ 15825-80
	Цемент напрягающий	M400; M500	ТУ 46854090
Глиноземистый	Глиноземистый цемент	40; 50; 60	ГОСТ 969-91
	Высокоглиноземистые цементы	25; 35	ГОСТ 969-91
	Гипсоглиноземистые расширяющиеся цементы	280	ГОСТ 11052-74

В таблице 4.3 приведены данные для выбора вида связующего материала, учитывающие характерные особенности его свойств и накопленный опыт применения цементов в составе сборных или монолитных бетонных и железобетонных конструкций.

В справочной и технической литературе приняты условные обозначения цементов, которые включают:

- указание наименования цемента, например, портландцемент, шлакопортландцемент сокращенно обозначаются ПЦ и ШПЦ;
- марку цемента;
- максимальное содержание активных минеральных добавок, например, 0; 5; 20% соответственно обозначается – Д0; Д5; Д20;
- обозначение быстротвердеющего цемента (при необходимости) – Б;
- обозначение (при необходимости) пластификации или гидрофобизации цемента – ПЛ и ГФ;
- обозначение нормирования минералогического состава клинкера (при необходимости) – Н;
- обозначение стандарта, регламентирующего свойства цемента – например, ГОСТ 10178 - 85.

Примеры условного обозначения: портландцемент марки 500 с содержанием активной минеральной добавки не более 20%, быстротвердеющий, пластифицированный обозначается как *ПЦ 500-Д 20-Б -ПЛ-ГОСТ10178-85*; шлакопортландцемент марки 400 как *ШПЦ 400 ГОСТ 10178-85*.

Таблица 4.3 – Особенности и области применения цементов

Вид цемента	Характерные особенности	Рациональная область применения
Портланд-цемент бездобавочный (ПЦ-ДО)	М550; М600: высокий темп твердения; высокая морозостойкость; низкая сульфатостойкость	Сборные и монолитные конструкции из бетонов класса В35 и выше. Не допускается для замены сульфатостойких цементов, для низкотермичных бетонов. Не рекомендуется для производства бетонов классов менее В30
	М500: средний темп твердения; высокая атмосферостойкость; высокая морозостойкость; низкая сульфатостойкость	Сборные и монолитные конструкции из бетонов класса В20- В30. При введении суперпластификаторов - для любых классов. Не допускается для замены сульфатостойких цементов; для низкотермичных бетонов. Не рекомендуется для бетонов класса менее В15.
	М400: средний темп твердения; высокая атмосферостойкость; низкая или средняя сульфатостойкость.	Сборные и монолитные конструкции из бетонов класса В20- В30. Не допускается для замены сульфатостойких цементов. Не рекомендуется для строительных растворов.
Портланд-цемент с минеральными добавками до 5% (ПЦ-Д5)	М400, М500, М550, М600: средний или высокий темп твердения; высокая атмосферостойкость, высокая морозостойкость; низкая сульфатостойкость.	Сборные и монолитные конструкции из бетонов класса В15- В35 и выше. Не допускается для замены сульфатостойких цементов; для низкотермичных бетонов (кроме М 400 в слабоагрессивных средах). Не рекомендуется для бетонов класса В15 и для строительных растворов.
Портланд-цемент с минеральными добавками до 20% (ПЦ-Д20)	М400, М500: средний темп твердения; средняя атмосферостойкость, средняя морозостойкость; средняя сульфатостойкость.	Бетонные и железобетонные сборные и монолитные конструкции из бетонов классов В20 - В30 и В15 - В25. Не допускается для замены сульфатостойких цементов; для низкотермичных бетонов; для бетонов с маркой морозостойкости F200 и выше. Не рекомендуется для бетонов классов менее В15; для строительных растворов.
Портланд-цемент быстротвердеющий с добавками (ПЦ-Д20-Б)	М400, М500: высокий темп твердения; средняя морозостойкость; пониженная сульфатостойкость	Производство конструкций с быстрым оборотом опалубки или повышенной отпускной прочности. Не допускается для замены сульфатостойких цементов; для низкотермичных бетонов; бетонов с маркой морозостойкости F200 и выше. Не рекомендуется для бетонов классов менее В15.
Сульфатостойкий цемент (ССПЦ)	М400: средний темп твердения; высокая морозостойкость; высокая сульфатостойкость.	Сборные и монолитные конструкции, работающие в условиях высокоагрессивной среды, в условиях попеременного замораживания и оттаивания, увлажнения и высушивания. Не рекомендуется для бетонов, к которым не предъявляются высокие требования по сульфатостойкости и морозостойкости.
Белые цементы (ПБЦ)	М400, М500: 1,2,3-го сорта.	Производство декоративных (белых, светлых) бетонов и растворов.

Цветные цементы	M300, M400, M500.	Производство декоративных бетонов и растворов.
Пуццолановый портландцемент (ППЦ)	M300, M400: низкий темп твердения; низкая морозостойкость; высокая водостойкость; высокая сульфатостойкость.	Для подземных и подводных конструкций в сильноагрессивных средах. Для внутренних массивов гидротехнических сооружений. Не допускается применение в зоне переменного замораживания и оттаивания, увлажнения и высыхания.
Шлакопортландцемент (ШПЦ)	M300, M400, M500: редний темп твердения; средняя морозостойкость; высокая сульфатостойкость	Для низкотермичных бетонов (для внутренних массивов гидротехнических сооружений), для строительных растворов Не рекомендуется в зоне переменного замораживания и оттаивания, увлажнения и высыхания.
Сульфатостойкий шлакопортландцемент (ССШПЦ)	M300, M400: низкий темп твердения; низкая морозостойкость; высокая сульфатостойкость.	Для подземных и подводных конструкций в сильноагрессивных средах. Не допускается в зоне переменного замораживания и оттаивания, увлажнения и высыхания.
Цемент для строительных растворов	M200: низкий темп твердения; низкая морозостойкость	Для строительных растворов и бетонов классов до В7,5.
Глиноземистый цемент (ГЦ)	Марки 40, 50, 60: высокий темп твердения; высокая морозостойкость; высокая сульфатостойкость.	Быстротвердеющие бетоны для аварийно-восстановительных работ, жаростойкие бетоны и растворы. Не допускается применение в щелочных средах и при температурах в период твердения выше 20 С ⁰
Высокоглиноземистый цемент (ВГЦ)	Марки 25, 35: высокий темп твердения; высокая морозостойкость; высокая сульфатостойкость.	Для жаростойких бетонов. Не допускается применение в щелочных средах и при температурах в период твердения выше 20 С ⁰
Напрягающий цемент (НЦ)	Марки по самоупрочению НЦ-10, НЦ-20, НЦ-30, НЦ-40; марки прочности М400, М500: высокий темп твердения; высокая морозостойкость; средняя сульфатостойкость; расширение при твердении.	Для бетонов с повышенными требованиями по водонепроницаемости (более W12) и морозостойкости (более F200). Для омоноличивания стыков. Для быстротвердеющих бетонов. Для бетонов с нормируемым напряжением. Не рекомендуется применение для бетонов и растворов общестроительного назначения.

4.5. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения цемента

Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения продукта осуществляют в соответствии с ГОСТ 30515 -97.

Приемка.

1. Приемку цемента осуществляет служба технического контроля изго-

товителя. Поставка цемента, не прошедшего приемку, не допускается.

2. Приемку цемента производят партиями. Объем партии, за исключением отгрузки в судах, не должен превышать вместимости одного силоса. При отгрузке цемента в судах объем партии может превышать вместимость одного силоса. В этом случае объем партии устанавливают по согласованию изготовителя с потребителем.

3. Служба технического контроля проводит приемку цемента на основании данных производственного контроля и приемосдаточных испытаний.

4. Результаты испытаний фиксируют в журнале. Журнал приемосдаточных испытаний должен быть пронумерован, прошнурован и опечатан печатью изготовителя. Журнал является официальным документом изготовителя, удостоверяющим качество продукции.

5. Партия цемента может быть принята и поставлена, если результаты испытаний по всем показателям соответствуют требованиям нормативного документа, если иное в части рекомендуемых показателей не предусмотрено договором (контрактом) на поставку цемента.

6. Приемку и поставку партии цемента проводят до окончания испытаний на прочность. Если после завершения испытаний на прочность будет установлен значительный дефект, данная партия цемента считается не соответствующей требованиям нормативного документа по классу прочности (марке).

7. Каждая партия цемента или ее часть, поставляемая в один адрес, должна сопровождаться документом о качестве.

8. Документ о качестве должен быть отмечен знаком контроля изготовителя, подписан руководителем службы технического контроля или его заместителем и выслан потребителю одновременно с цементом или не позднее трех суток, не считая даты отгрузки цемента.

9. По требованию потребителя изготовитель обязан сообщать ему результаты всех приемосдаточных испытаний данной партии цемента.

Маркировка.

1. Маркировку цемента в мешках производят на каждом мешке в любой его части. При упаковке цемента в мягкие контейнеры маркировку наносят на этикетку, вкладываемую в специальный карман, имеющийся на мягком контейнере. Допускается наносить маркировку несмываемой краской на боковую поверхность мягкого контейнера в любой ее части.

2. При мелкой расфасовке цемента маркировку наносят на этикетку, которую наклеивают на банку или пакет, либо вкладывают между внешними и внутренними слоями пакета, либо маркировку наносят непосредственно на банку или пакет. Вкладывать этикетку в пакет разрешается только в том случае, если наружный слой пакета изготовлен из прозрачного материала.

3. Маркировка должна быть отчетливой и содержать:

- наименование изготовителя и его товарный знак;
- условное обозначение цемента и (или) его полное наименование в соответствии с нормативным документом;
- класс прочности (марку) цемента, если нормативным документом пре-

дусмотрено деление по классам прочности (маркам);

- обозначение нормативного документа, по которому поставляют цемент;

- среднюю массу нетто цемента в упаковке или массу нетто цемента в транспортном средстве;

- знак соответствия при поставке сертифицированного цемента (если это предусмотрено системой сертификации).

4. При поставке цемента в мелкой расфасовке каждая упаковка должна иметь краткую инструкцию по его применению, которая может быть воспроизведена на упаковке или прилагаться к ней.

При поставке цветного цемента на упаковку должна быть нанесена полоса соответствующего цвета.

5. При формировании транспортных пакетов из мешков с цементом верхний ряд мешков должен быть уложен так, чтобы была отчетливо видна маркировка на мешках. На мешки верхнего ряда дополнительно наносят транспортную маркировку по ГОСТ 14192.

6. При поставке цемента в мелкой расфасовке, помещенной в укрупненную тару, этикетку наклеивают также и на тару. При этом на этикетке дополнительно указывают число упаковок в таре.

7. Каждое транспортное средство (в том числе при поставке цемента без упаковки) снабжают ярлыком, в котором указывают все сведения и дополнительно номер партии цемента, и дату отгрузки. Ярлык прикрепляют к транспортному средству в доступном месте любым способом, обеспечивающим его сохранность при транспортировании.

Упаковка.

1. Цемент отгружают в упаковке или без нее. При поставке без упаковки цемент должен быть отгружен в специализированном транспорте.

2. Для упаковки цемента применяют:

- бумажные пяти- или шестислойные мешки по ГОСТ 2226, сшитые или склеенные с закрытой горловиной с клапаном марок НМ, БМ или БМП. Могут быть использованы бумажные мешки зарубежного производства показатели, качества которых не ниже требований ГОСТ 2226;

- мягкие контейнеры с водонепроницаемым вкладышем или другая упаковка, надежно защищающая цемент от увлажнения и загрязнения, по соответствующим нормативным документам.

Для мелкой расфасовки применяют полиэтиленовые банки, пакеты, а также другую упаковку, обеспечивающую сохранность цемента, по соответствующим нормативным документам.

3. При расфасовке предельная масса брутто мешка с цементом не должна превышать 51 кг.

4. Среднюю массу брутто мешка с цементом определяют взвешиванием 20 мешков, выбранных методом случайного отбора из партии, и делением результата на 20.

Среднюю массу мешка определяют взвешиванием 20 мешков, выбран-

ных методом случайного отбора из партии полученных мешков, и делением результата на 20.

Среднюю массу нетто цемента в мешке определяют, вычитая из средней массы брутто мешка с цементом среднюю массу мешка.

Отклонение средней массы нетто цемента в мешках данной партии от массы нетто, указанной на упаковке, не должно быть более кг.

Отклонение массы нетто цемента в отдельном мешке от указанной на упаковке не должно быть более 1 кг.

5. Массу брутто мягкого контейнера с цементом определяют непосредственно после его заполнения.

Среднюю массу нетто цемента в мягком контейнере определяют, вычитая из массы брутто мягкого контейнера с цементом среднюю массу мягкого контейнера, определенную аналогично средней массе бумажного мешка.

Отклонение средней массы нетто цемента в мягком контейнере от указанной на упаковке не должно быть более (+;-) 3%.

5. Масса нетто цемента в отдельной упаковке при мелкой расфасовке должна быть (3; 5) $\pm 0,05$ кг, (10; 20) $\pm 0,3$ кг.

Транспортирование.

1. Цемент транспортируют всеми видами транспорта с соблюдением Правил перевозок грузов, установленных для транспорта данного вида, и требований другой документации, утвержденной в установленном порядке.

2. Цемент без упаковки транспортируют в специализированных вагонах-цементовозах, автоцементовозах и судах.

3. Цемент в упаковке транспортируют в универсальных транспортных средствах (крытых вагонах, автомобилях и судах) транспортными пакетами, в контейнерах или поштучно (мешками).

4. Цемент в мелкой расфасовке транспортируют в крытых вагонах или автомобильным транспортом в специальных емкостях.

5. Транспортирование цемента пакетами в термоусадочной пленке железнодорожным транспортом осуществляют в соответствии с Техническими условиями на размещение и крепление пакетов, сформированных из мешков цемента с использованием термоусадочной пленки, в четырехосных полувагонах.

6. Транспортные пакеты формируют с применением плоских поддонов по ГОСТ 9078, термоусадочной полиэтиленовой пленки по ГОСТ 25951 или других средств пакетирования по соответствующим нормативным документам.

7. Пакеты в термоусадочной пленке должны быть герметичны и плотно обжаты пленкой со всех сторон. Габариты пакета должны быть следующими: длина – 1260-1290 мм, ширина – 1030-1060 мм, высота – 880 – 950 мм. Ширина проема на уступе цокольной части должна быть не менее 100 мм с каждой стороны пакета, высота – не менее 90 мм. Масса пакета нетто – не более 2000 кг.

8. Цемент в мягких контейнерах транспортируют железнодорожным транспортом в полувагонах или на платформах; в судах в трюме или на от-

крытой палубе; в бортовых автомобилях.

9. Контейнеры, применяемые для транспортирования цемента, должны соответствовать требованиям нормативных документов на них.

10. Изготовитель обязан поставлять цемент в исправном и очищенном транспортном средстве.

11. При транспортировании цемента без упаковки или в мешках он должен быть защищен от воздействия влаги и загрязнения.

Хранение.

1. Цемент должен храниться отдельно по типам (видам) и классам прочности (маркам): в неупакованном виде – в силосах или других закрытых емкостях, а цемент в упаковке – в сухих помещениях.

Смешивание цементов различных типов (видов) и классов прочности (марок), а также загрязнение его посторонними примесями и увлажнение не допускаются.

Не допускается хранить цемент без упаковки в складах амбарного типа.

2. При хранении мешки с цементом укладывают вплотную на поддоны в штабели по высоте не более 1,8 м с обеспечением свободного подхода к ним.

3. Допускается хранение цемента в мягких контейнерах и пакетах, изготовленных с применением водонепроницаемых материалов, под навесом или на открытых площадках при условии целостности водонепроницаемой упаковки.

Для предотвращения примерзания мягких контейнеров и пакетов их следует укладывать на поддоны в штабели высотой не более трех ярусов.

4.6. Пути экономии цемента

Строительство является самой материалоемкой отраслью, требующей добычи, переработки и транспортировки огромного количества минерального сырья.

Причины перерасхода цемента:

- необеспеченность высококачественными заполнителями;
- потеря активности при неудовлетворительном хранении;
- неудовлетворительные условия транспортирования;
- низкий технологический уровень приготовления растворов.

Пути экономии цемента:

- приготовление бетона из чистых фракционированных заполнителей;
- использование химических добавок, и в первую очередь пластификаторов;
- использование отдельной технологии приготовления бетонной смеси;
- оптимизация условий транспортирования и хранения;
- применение высококачественных форм для контрольных образцов;
- учет последующего нарастания прочности бетона рациональные подборы составов бетонов и растворов;
- применение автоматических устройств по дозированию составляющих.

В качестве примера рассмотрим вопрос использования промышленных отходов в производстве цемента, т.к. повсеместно имеются большие месторождения некондиционных нерудных ископаемых. Кроме того, многочисленные предприятия различных отраслей промышленности ежегодно сбрасывают в отвалы сотни миллионов тонн разнообразных отходов. Все некондиционное сырье можно рассматривать как дополнительные ресурсы для производства строительных материалов, в том числе, и цемента.

При всем многообразии промышленных отходов наиболее перспективные из них, с точки зрения расширения сырьевой базы водохозяйственного строительства, можно свести к следующим основным видам: топливные шлаки и золы; шлаки черной и цветной металлургии; отходы горнорудной промышленности; отходы угледобычи; отходы промышленности строительных материалов; прочие промышленные отходы.

Следует иметь в виду, что в каждом конкретном случае рекомендации по применению некондиционного сырья, а также тех или иных отходов требуют уточнения с учетом местных условий.

Для каждого из перечисленных видов устанавливаются нормативные требования по минералогическому составу, содержанию добавок, марочной прочности, условиям и времени их хранения. Но портландцемент является сравнительно дорогим вяжущим веществом. В связи с этим весьма актуальным является решение вопросов снижения его себестоимости и экономии с учетом использования региональных ресурсов.

Все это позволит комплексно решать задачи экономии цемента, повышения качества бетона и железобетона, а также утилизации отходов и восстановления природно-экологического баланса окружающей среды.

Контрольные вопросы

- 1. Перечислите разновидности портландцемента.*
- 2. Основные свойства и применение быстротвердеющих цементов.*
- 3. Получение, свойства и применение сульфатостойких цементов.*
- 4. Особенности пластифицированного и гидрофобного портландцементов.*
- 5. Получение, свойства и применение пуццоланового портландцемента.*
- 6. Получение, свойства и применение шлакопортландцемента.*
- 7. Особенности и области применения алюминатных цементов.*
- 8. Безусадочные, расширяющиеся и напрягающие цементы и области их применения.*
- 9. Какие изменения на цемент оказывают добавки и наполнители.*
- 10. Использование промышленных отходов для получения разновидностей цементов.*
- 11. В чем особенности тампонажных материалов.*
- 12. Назовите основные правила маркировки, упаковки, транспортирования и хранения цементов.*
- 13. Перечислите причины перерасхода и пути экономии цемента.*

ЛЕКЦИЯ 5. БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

Вопросы:

- 5.1. Определение и классификация бетонов. Состав бетона и свойства бетонной смеси.
- 5.2. Структура, характеристики, классы и марки бетона.
- 5.3. Свойства и основы технологии бетона.

5.1. Определение и классификация бетонов. Состав бетона и свойства бетонной смеси

Бетонами называют искусственные каменные материалы, получаемые в результате затвердевания рациональной по составу, тщательно перемешанной и уплотненной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды и заполнителей.

До затвердевания эта смесь называется бетонной смесью. Помимо указанных выше основных компонентов, в состав бетонной смеси могут вводиться специальные добавки для улучшения требуемых свойств получаемого материала.

Среди других искусственных каменных материалов, бетоны относятся к самым массовым по применению в строительстве. Благодаря их высокой прочности, надежности и долговечности при работе в конструкциях зданий и сооружений.

Кроме указанных достоинств, у бетонов на минеральных вяжущих имеется и много других положительных качеств:

- легкая формуемость бетонной смеси, обеспечивающая получение практически любых заданных форм и размеров изделий и конструкций;
- возможность полной механизации бетонных работ;
- разнообразие свойств бетона, достигаемое использованием соответствующих вяжущих веществ, заполнителей и специальных добавок, а также применением специальных технологических приемов и операций;
- экономичность состава бетона, до 80-90% объема которого приходится на долю заполнителей из местных каменных материалов;
- возможность использования разнообразных крупнотоннажных отходов промышленности в составе бетонной смеси.

Классификация бетонов производится по различным признакам, приведенным на рисунке 5.1.

Для получения бетонов применяют практически все разновидности минеральных вяжущих, в соответствии с чем различают бетоны:

- **цементные** (на портландцементе и его разновидностях);
- **силикатные** (на известковых вяжущих в сочетании с силикатными компонентами);
- **гипсовые** (с применением гипсоангидритовых вяжущих).

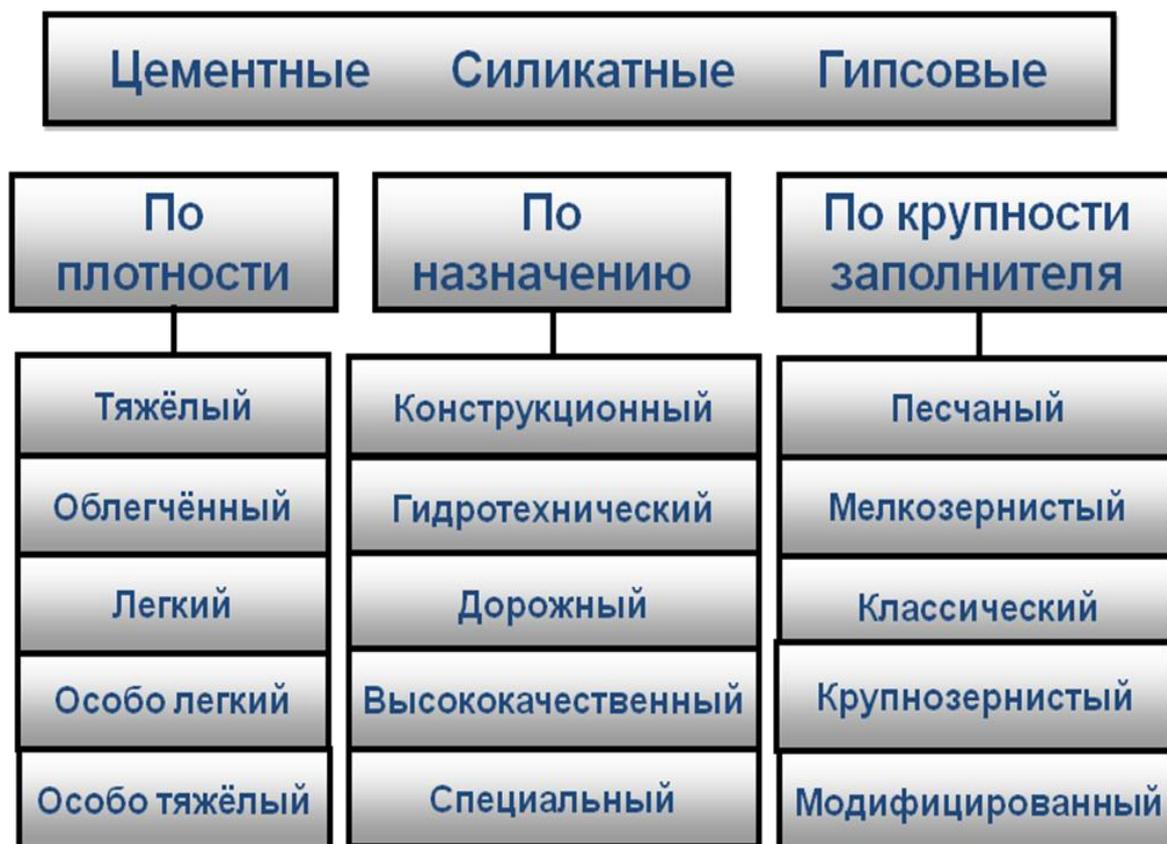


Рисунок 5.1 – Классификация бетонов

В зависимости от наибольшей крупности применяемых заполнителей бетоны подразделяются на:

- **песчаные** (с крупностью зерен заполнителя до 5 мм);
- **мелкозернистые** (с максимальной крупностью зерен заполнителя до 10 мм);
- **крупнозернистые** (с заполнителями наибольшей крупности 10 – 150 мм).

По производственному назначению бетоны бывают:

- **конструкционные**, предназначенные для изготовления бетонных и железобетонных (в сочетании с арматурой в виде стальных стержней, сеток, каркасов) несущих конструкций зданий и сооружений (колонны, балки, плиты и др.);
- **гидротехнические** (для строительства плотин, шлюзов, облицовок каналов и других гидротехнических сооружений);
- **дорожные** (для строительства дорожных и аэродромных оснований и покрытий);
- **специального назначения** (кислотоупорные, жароупорные, рентгенозащитные и др.).

Основной считается классификация бетонов по показателю средней плотности бетона, зависящей от вида используемых заполнителей и пористости цементного камня.

По средней плотности бетоны подразделяют на следующие виды:

– **особо тяжелые** со средней плотностью свыше 2500 кг/м^3 , получаемые на заполнителях в виде железной руды, барита, чугунного скрапа, чугунной дроби, стальных обрезков и т.п., используемые для биологической защиты от радиоактивных излучений;

– **тяжелые** (обычные) – средней плотностью $2200\text{-}2500 \text{ кг/м}^3$, получаемые на заполнителях из плотных горных пород – гранита, диабазы, песчаника и др., используемые для сборных и монолитных несущих конструкций;

– **облегченные** – средней плотностью $1800\text{-}2200 \text{ кг/м}^3$, получаемые на заполнителях из шлаков и других промышленных отходов, предназначенные для ограждающих несущих конструкций (наружные стены, покрытия зданий);

– **легкие** – средней плотностью $500\text{-}1800 \text{ кг/м}^3$, предназначенные для ограждающих конструкций, получаемые с использованием легких пористых природных (пемза, туф и др.) или искусственных (керамзит, аглопорит, перлит, термозит, вермикулит и др.) заполнителей, либо при отсутствии в них песчаных фракций заполнителей, вследствие чего между зернами крупного заполнителя образуются пустоты, а сам такой легкий бетон называется **крупнопористым**;

– **особо легкие** (теплоизоляционные) – средней плотностью менее 500 кг/м^3 , характеризующиеся большим содержанием в них воздушных или газовых равномерно распределенных по всему объему мелких пор (ячеек), именуемые ячеистыми бетонами.

Каждой разновидности бетона присущи свои особенности: например, гидротехнический должен быть предельно плотным, водонепроницаемым, морозостойким, стойким против коррозии, тогда как легкий бетон для ограждающих конструкций зданий (стен, перекрытий) должен быть малотеплопроводным, обеспечивать требуемую звукоизоляцию и пр., а дорожные бетоны должны быть не только морозостойкими, но и устойчивыми к динамическим воздействиям транспортных средств, к истираемости и износу под колесами автомашин в сложных климатических условиях.

Состав бетона. Но состав бетона не может быть универсальным, по одному рецепту на все случаи. Состав бетона, как и состав сплава в металлургии, должен быть запроектирован заранее в зависимости от того, в каких конструкциях, в каком сооружении будет применяться бетон. При этом надо иметь в виду, что свойства бетона, например, важнейшее из них – прочность, зависят не только от того, в каких пропорциях взяты его составные части, но и от качества исходных материалов и технологии получения бетона.

Требования к исходным материалам для приготовления бетонных смесей определяются соответствующими ГОСТами на каждый из них.

Для обычных бетонов в качестве вяжущего используют портландцемент и его разновидности.

Наиболее распространенными являются:

– портландцемент – начинает схватываться не ранее чем через $3/4$ часа и не позднее чем через 3 часа после замеса, конец схватывания – через 4–10 часов;

– шлакопортландцемент – после замеса в зависимости от температур и параметров раствора начинает схватываться через 1–6 часов, заканчивает через 10–12 часов;

– пуццолановый портландцемент – твердение начинается через 1–4 часа, заканчивается через 6–12 часов;

– глиноземистый цемент – твердеть начинает через 1 час, заканчивает через 8 (но не позже).

К мелким заполнителям бетона относятся различные *пески* – природные (горные, речные, морские, овражные) или искусственные, получаемые дроблением горных пород или некоторых промышленных отходов. К пескам, используемым в качестве мелких заполнителей бетона, предъявляют требования по их зерновому и минералогическому составу, по содержанию вредных примесей, пылевидных и глинистых частиц. В случае необходимости пески обогащают – просеивают и промывают, смешивают с другими более крупными песками и т.п.

В зависимости от размеров зерен различают следующие виды песка:

– крупный размер песчинок 3,5–2,4 мм,

– средний – 2,5–1,9 мм,

– мелкий 2,0–1,5 мм;

– очень мелкий 1,6–1,1 мм);

– тонкий (меньше 1,2 мм).

В качестве крупного заполнителя применяют *гравий* или *щебень* из горных пород или искусственного происхождения.

Гравий – это в различной степени окатанные обломки прочных горных пород (гранита, диорита, базальта и др.) с гладкой поверхностью. Размер зерен гравия от 5 до 70 мм. Для бетона наиболее применимы зерна малоокатанной щебневидной формы, хуже яйцевидные (сильноокатанные), еще хуже зерна пластинчатой и игловатой формы, снижающие прочность бетона. Гравий, подобно песку, может содержать вредные примеси пыли, ила, глины, органических кислот и сернокислых соединений, содержание которых ограничивается действующими стандартами.

Часто гравий залегает вместе с песком. При содержании в гравии 25–40% песка, материал называют песчано-гравийной смесью. Пригодность гравия в качестве заполнителя определяют по результатам испытания.

Щебень – это материал, который получают при дроблении горных пород или искусственных камней на куски размером, как и гравий от 5 до 70 мм.

Зерна щебня имеют неправильную форму, поверхность их рваная, шероховатая. Поэтому щебень лучше сцепляется с цементным камнем, но бетонная смесь со щебнем хуже перемешивается и тяжелее уплотняется. Из-за этого в бетонную смесь со щебнем приходится добавлять больше воды затворения, чем с гравием.

К крупным заполнителям относятся и пористые материалы – щебень из туфа, пемзы, вулканического шлака, или керамзитовый гравий, изготавливаемый на заводах легких заполнителей и др.

В зависимости от величины фрагментов различают следующие фракции:

- особо мелкий 3-10 мм;
- мелкий 10-12 мм;
- средний 20-40 мм;
- крупный 40-70 мм.

Для затворения бетонных смесей должна применяться *вода*, не содержащая вредных примесей – кислот, сульфатов, жиров и т.д. Обычно применяют питьевую воду. Морская и другая вода допускается только на основании результатов специальных испытаний.

Чтобы получить высокую прочность бетона, надо правильно подобрать зерновой состав заполнителей. Так составить из них смесь, чтобы между зернами было как можно меньше пустот. Для этого, вначале рассеивают крупный и мелкий заполнитель по размерам, или фракциям, которые затем составляют так называемую оптимальную зерновую смесь. В этой смеси все частицы так тесно примыкают друг к другу, что для цементного теста остаются только незначительные промежутки. Бетон, приготовленный на такой оптимальной смеси заполнителей, имеет высокую плотность и прочность.

Свойства бетонной смеси. Качество бетонной смеси оценивают по ее связности, однородности и удобоукладываемости – формуемости. Эти свойства зависят от вязкости и количества цементного теста, обволакивающего заполнитель и заполняющего пустоты между ним. Количество цементного теста должно быть достаточным для того, чтобы эта многокомпонентная система приобрела связность, т.е. превратилась в структурированную однородную систему с определенными физическими и механическими свойствами. Свойство бетонной смеси разжижаться при механических воздействиях и вновь загустевать в спокойном состоянии называется *тиксотропией*.

Но одной только оптимальной смеси заполнителей еще недостаточно – нужна рациональная технология бетона. Технология приготовления бетонной смеси складывается из ряда последовательных операций.

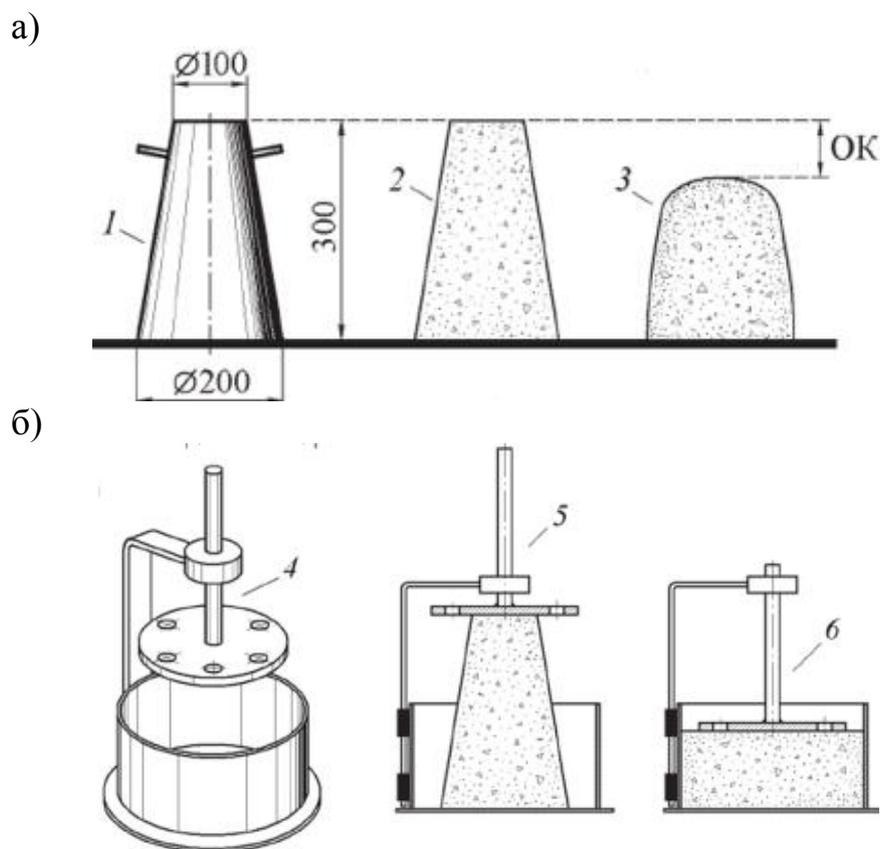
Прежде всего, в соответствии с заданным составом производится *дозирование* принятых исходных материалов – цемента, песка, щебня, воды и др. Дозирование осуществляют путем отвешивания (реже – объемного отмеривания) компонентов смеси с помощью автоматических или ручных дозаторов. Порции материалов по проектному составу направляют в бетоносмесители с принудительным или свободным (гравитационным) *перемешиванием*. Цель перемешивания – получение из зернистых материалов однородной смеси. Однородность бетонной смеси – одно из важнейших к ней требований. Если смесь будет неоднородной, бетон будет неодинаково прочным в различных участках конструкции, что приведет к ее разрушению при нагрузке.

После перемешивания бетонную смесь *транспортируют* (иногда на многокилометровые расстояния) к месту укладки. При этом очень важно, чтобы смесь сохранила свою однородность и не расслоилась во время перевозки. Транспортирование на большие расстояния целесообразнее всего осуществлять в автобетоносмесителе, продолжающем перемешивание бетон-

ной смеси во время ее перевозки.

Формовочная способность бетонной смеси (удобоукладываемость) определяется такими показателями как подвижность и жесткость.

Подвижность отражает способность бетонной смеси, которой была придана определенная форма, например, правильного усеченного конуса, оседать или расплываться под влиянием собственной тяжести. Измеряют подвижность бетонной смеси величиной (в сантиметрах) осадки стандартного конуса – конуса Абрамса (рисунок 5.2, а). Если осадка конуса находится в пределах 2 - 4 см, смесь относят к *малоподвижным*, 4 - 12 см – к *подвижным*, более 12 см – к *текучим* (литым).



а – подвижности; б – жесткости;

1 – конус Абрамса; 2 – жесткая бетонная смесь $OK=0$; 3 – подвижная бетонная смесь $OK>0$; 4 – прибор Вебе; 5 и 6 – начальный и конечный моменты испытаний

Рисунок 5.2 – Определение показателей бетонной смеси

При осадке конуса, равной нулю, смесь – *жесткая*. В этом случае ее удобоукладываемость оценивается с помощью специальных приборов для определения показателя жесткости (в секундах).

Жесткость бетонной смеси характеризуют продолжительностью вибрирования на стандартной виброплощадке (частота – 3000 колебаний в минуту, амплитуда колебаний – 0,5 мм), необходимой для выравнивания и уплотнения предварительно отформированного конуса бетонной смеси (рисунок 4.2, б). К особо жестким относят смеси при времени вибрации свыше 13 с., к

жестким 5 – 12 с., к малоподвижным – менее 5 с.

Показатели подвижности и жесткости назначают с учетом характера изделия, средств уплотнения, густоты армирования и др. Регулирование указанных характеристик бетонной смеси достигается проектированием ее состава, а при необходимости – введением специальных пластифицированных и других добавок.

5.2. Структура, характеристики, классы и марки бетона

Многообразие бетонов, используемых в строительстве, увеличивается с каждым годом. Для правильного их применения особое значение имеет изучение зависимостей «состав - структура - свойство».

При прочих равных условиях объем и характер пористости, а также соотношение в свойствах отдельных составляющих бетона определяют его основные технические свойства, стойкость в различных условиях и долговечность. Большое влияние на свойства материала оказывает размер зерен, пор и других структурных элементов. Поэтому в бетоне различают макроструктуру и микроструктуру. Под макроструктурой понимают структуру, видимую невооруженным глазом или при небольшом увеличении. В качестве структурных элементов здесь различают крупный заполнитель, песок, цементный камень, воздушные поры.

Микроструктурой называют структуру, видимую при большом увеличении под микроскопом. Для бетона большое значение имеет микроструктура цементного камня, которая состоит из не прореагировавших с водой зерен цемента, новообразований, микропор и формируется в процессе длительного твердения и в зрелом возрасте она включает: остатки зерен цемента; продукты гидратации цемента; поры (капиллярные и гелевые).

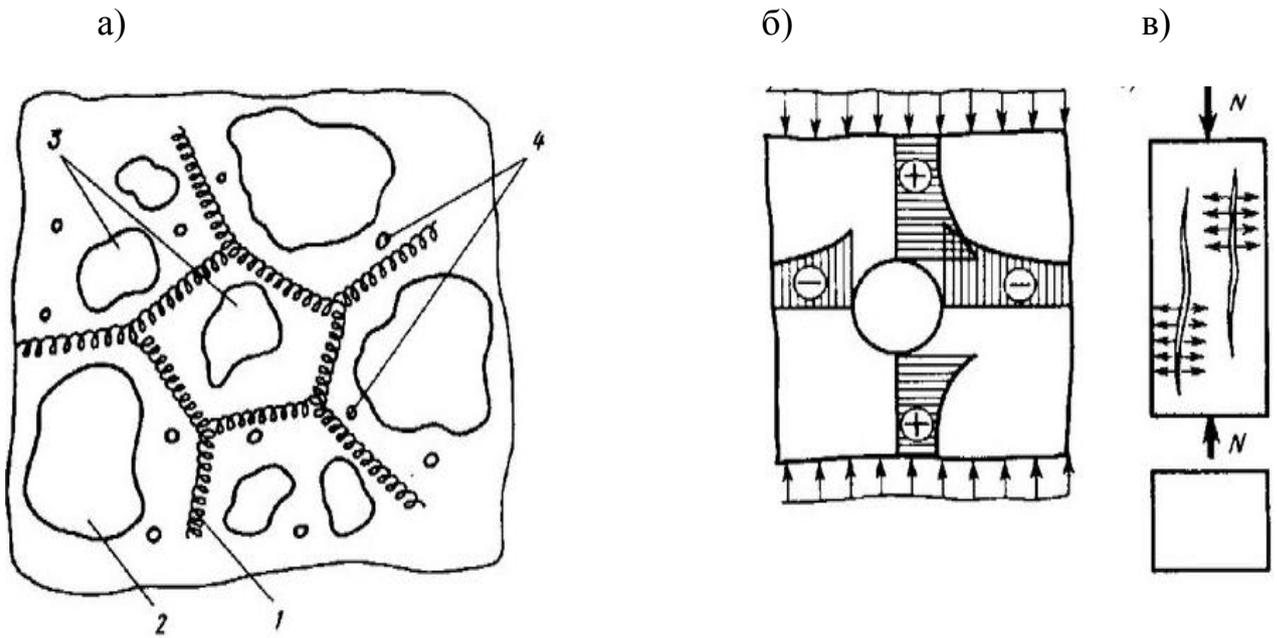
Для различных видов бетона характерна своя структура. Для тяжелых бетонов – *плотная*, для легких конструктивных бетонов – *плотная структура с пористыми включениями*, легкие теплоизоляционные бетоны имеют чаще всего *ячеистую* структуру и т.д.

Представление о различных типах структур позволяет более четко проектировать состав бетона, используя характерные для каждого случая зависимости.

При затворении бетонной смеси водой начинается химическая реакция гидратации, образуется студенистое вещество – гель, который со временем кристаллизуется, твердеет, скрепляет зерна заполнителей.

Структуру бетона можно представить в виде пространственной решетки из цементного камня, включающего кристаллический сросток, гель и большое количество пор и капилляров, содержащих воздух и воду, в котором хаотично расположены зерна песка и щебня (рисунок 5.3, а).

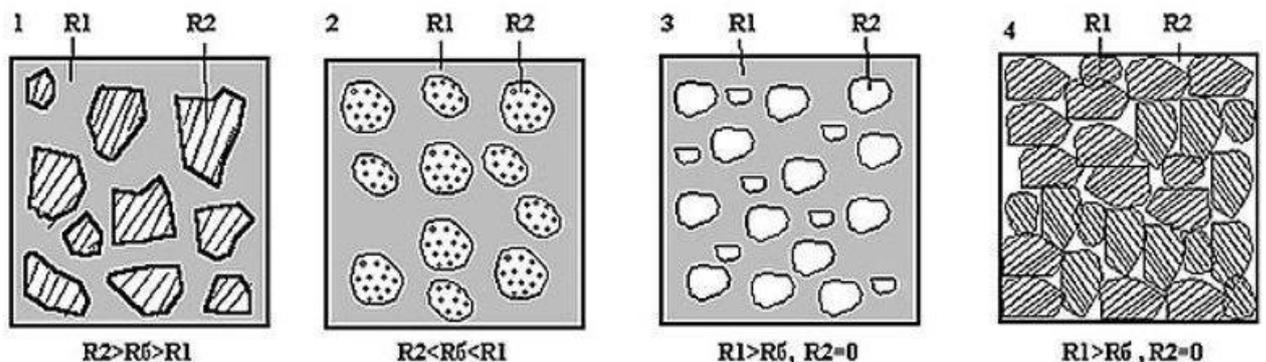
Структура бетона оказывает существенное влияние на прочность и деформативные свойства бетона, который имеет малую прочность на растяжение, поэтому происходит разрыв бетона от поперечных растягивающих напряжений – трещинообразование (рисунок 5.3, б, в).



а – пространственная решетка; б – эпюры напряжений образца при сжатии;
 в – образование трещин; (-) – продольные сжимающие напряжения;
 (+) – поперечные растягивающие напряжения; 1 – цементный камень;
 2 – щебень; 3 – песок; 4 – поры, заполненные воздухом и водой

Рисунок 5.3 – Структура бетона и схема работы бетона при сжатии

Механические свойства цементного камня и заполнителей существенно отличаются друг от друга. *Макроструктура* (рисунок 5.4) зависит от соотношения между компонентами бетона, а также однородности их распределения. Надо учитывать и воздушные пустоты, возникающие вследствие недоуплотнения бетонной смеси.



1 – плотная; 2 – плотная с пористым заполнителем; 3 – ячеистая; 4 – зернистая;
 R_b – средняя прочность структуры; R_1 и R_2 – прочности составляющих бетона

Рисунок 5.4 – Типы макроструктуры бетона

Таким образом, структура бетона грубо неоднородна и зависит от многих факторов. Эти особенности структуры проявляются в свойствах бетона

во взаимодействии с температурно-влажностным режимом окружающей среды, наделяя его упруго-пластично-ползучими свойствами.

Основной закон прочности бетона устанавливает зависимость прочности от качества применяемых материалов и пористости бетона для расчета состава бетона по заданным параметрам выражается эмпирическими формулами Скрамтаева–Боломея в виде:

- для составов бетонов с Ц/В = 1,4...2,5 $R_b = AR_y (\text{Ц/В} - 0,5)$;
- для составов бетонов с Ц/В = 2,5...3,5 $R_b = A_1 R_y (\text{Ц/В} + 0,5)$.

Значение коэффициентов A и A_1 определяют по таблице 5.1

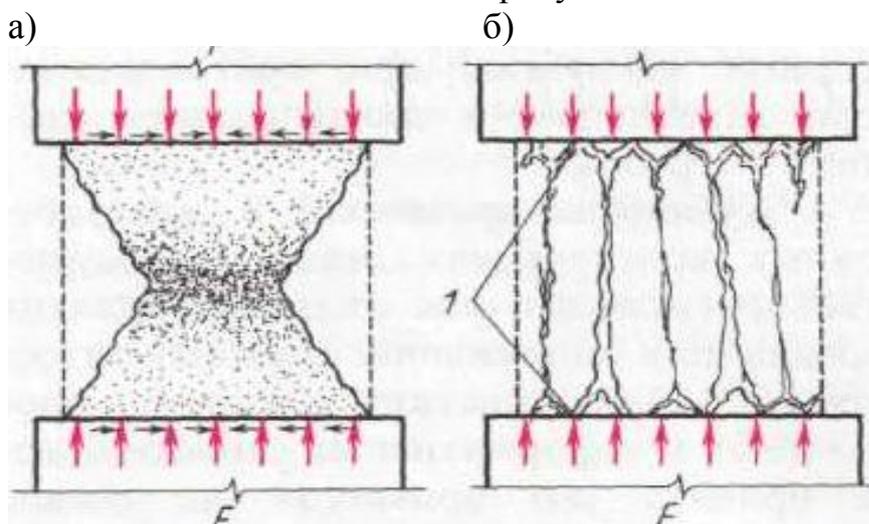
Таблица 5.1 – Значение коэффициентов A и A_1 в формулах прочности

Характеристика заполнителей	Значения коэффициентов	
	A	A_1
Высококачественные (щебень из плотных горных пород высокой прочности, песок промытый оптимальной крупности)	0,65	0,43
Рядовые (заполнители среднего качества)	0,60	0,40
Пониженного качества (щебень низкой прочности, мелкие пески)	0,55	0,37

Прочность бетона при сжатии. Основным показателем качества бетонов является предел прочности при одноосном сжатии образцов-кубов с ребром 15 см (с разделением бетонов на классы прочности В) или предел прочности при сжатии цилиндрических образцов диаметром 15 и высотой 30 см (с разделением бетонов на классы С).

Кубиковая прочность бетона (R). Для оценки прочности бетона за стандартные лабораторные образцы принимают кубы размером 15x15x15 см; испытывают при температуре 20°C через 28 дней твердения в нормальных условиях (температуре воздуха 15-20°C, относительной влажности 90-100%).

Временное сопротивление эталонных кубов принимают за кубиковую прочность бетона. Однако при испытании бетонных кубиков края пресса препятствуют поперечным деформациям опорных граней кубиков создавая эффект обоймы как это видно на схеме из рисунка 5.5.



а – эффекта обоймы; б – при смазке поверхности контакта;

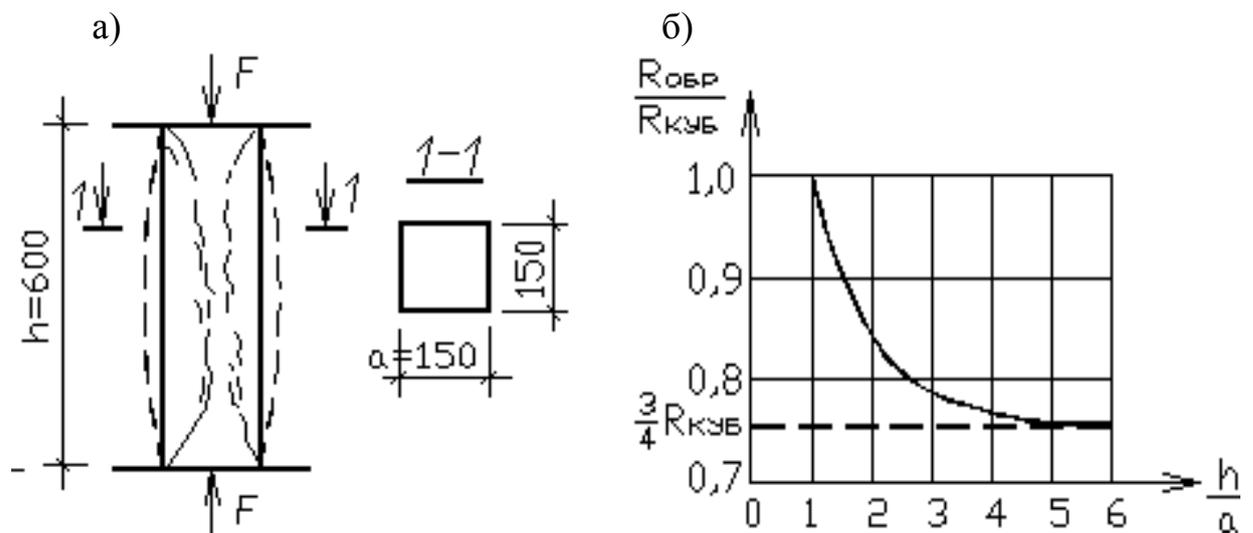
1 – смазка

Рисунок 5.5 – Схема испытания бетонных кубиков на прочность

В результате **кубики показывают повышенную прочность**, по сравнению с реальной прочностью бетона. Если смазать поверхности контакта кубика с гранями пресса, то силы трения не препятствуют работе образца, разрушение происходит от раскалывания образца при меньших напряжениях, соответствующих реальной прочности бетона.

Призменная прочность бетона (R_b). На практике поверхности пресса не смазываются, а увеличивается длина образца (рисунок 5.6, а).

При увеличении длины образца отношение прочности образца к прочности кубика уменьшается и при соотношении $h/a \geq 4$ устанавливается, т.е. показывает реальную прочность бетона (рисунок 5.6, б).



а – схема испытания; б – зависимость сравнения призменной и кубиковой прочности эталонных образцов бетона

Рисунок 5.6 – Схема испытания бетонной призмы при сжатии

Таким образом, по кубиковой прочности устанавливают класс прочности бетона, по призменной – нормативное сопротивление для расчетов.

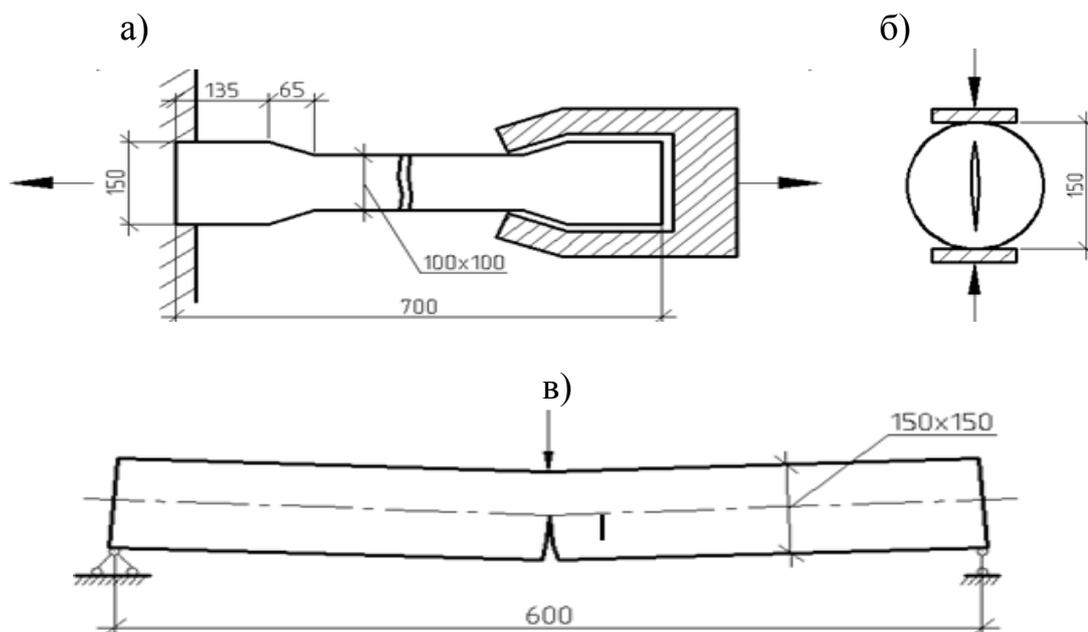
Связь между призменной и кубиковой прочностью записывается в виде:

$$R_b = 0.77 - 0.001R \approx 0.75R.$$

Эти показатели качества обоих классов принимаются по стандарту с гарантированной обеспеченностью прочности. Всего предусмотрено 19 классов по прочности на сжатие при испытании кубов (от В1 до В60) и 19 классов при испытании цилиндров (от С 0,8 до С 55). Все значения прочности при этом выражаются в МПа.

Прочность бетона при растяжении оставляет 7–10 % от прочности при сжатии. Временное сопротивление бетона осевому растяжению R_{bt} определяют испытаниями:

- на разрыв – образцов в виде восьмерки на разрывной машине;
- на раскалывание – образцов в виде цилиндров и на изгиб – бетонных балок (рисунок 5.7)



а – на разрыв (образец в виде восьмерки); б – на раскалывание (образец в виде цилиндра); в – на изгиб (бетонной балки)

Рисунок 5.7 – Схема испытания образцов бетона при растяжении

Значение прочности бетона при растяжении определяется по формуле

$$R_{bt} = 5R / (45 + R)$$

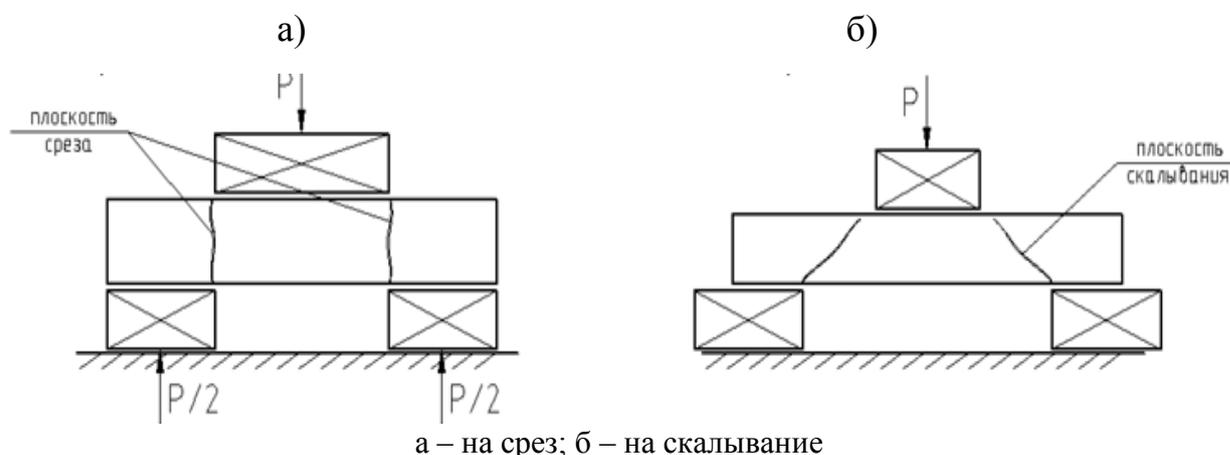
При изгибе

$$R_{bt} = \gamma m / W = 3,5 M / bh^2,$$

где $\gamma = 1,7$ – коэффициент, учитывающий неупругие деформации бетона;
 $W = bh^3 / 6$ – момент сопротивления прямоугольного сечения;
 b и h – ширина и высота сечения соответственно.

Прочность бетона на срез и скалывание. Срез – разделение элемента на 2 части по сечению, к которому приложены перерезывающие силы (рисунок 5.8, а). Временное сопротивление бетона на срез: $R_{sh} = 2R_{bt}$.

Скалывание (рисунок 5.8, б) возникает при изгибе балок до появления в них наклонных трещин: $R_s = (1,5 - 2)R_{bt}$.



а – на срез; б – на скалывание

Рисунок 5.8 – Схема испытания прочности образцов бетона

Деформативные характеристики бетона определяются, исходя из класса и марки, плотности и технологических показателей бетона.

В процессе приготовления, твердения и эксплуатации в бетоне происходят объемные изменения, возникают *деформации* материала. Величина их зависит от структуры бетона, свойств его составляющих, особенностей технологии и других факторов.

При твердении бетона под влиянием протекающих в нем физико-химических процессов происходят собственные деформации бетона – усадка и набухание.

Усадкой называется свойство бетона уменьшаться в объеме при твердении в обычной воздушной среде. Она связана с уменьшением объема цементного геля, потерей избыточной воды в результате испарения и гидратации с непрореагировавшими частицами цемента.

Усадка идет неравномерно, т.к.:

- препятствуют заполнители, которые становятся внутренними связями, вызывающими в цементном камне начальные растягивающие напряжения;

- высыхание бетона, снаружи больше, а внутри меньше, при этом открытые, быстро высыхающие слои бетона испытывают растяжение, т.к. внутренние более влажные слои препятствуют укорочению всего сечения. В бетоне появляются *усадочные трещины*.

Уменьшение начальных усадочных напряжений достигается с использованием:

- конструктивных решений (армирование, устройство усадочных швов и др.);

- технологических мер (подбор состава, увлажнение среды, увлажнение поверхности бетона).

В возрасте 1-1,5 года общая усадка бетона составляет 0,1-1,5 мм/м, в зависимости от разновидности цемента и его расхода, температурно-влажностных условий твердения и т.д. Значительная и неравномерная усадка (усадка поверхностных слоев материала конструкции) может вызвать появление усадочных трещин.

Для гидротехнических сооружений немаловажным фактором являются и температурные колебания окружающей среды, которые вызывают деформации бетона. Коэффициент теплового расширения бетона находится в пределах от $7 \cdot 10^{-6}$ до $12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, что зависит от разновидности крупного заполнителя.

Деформации бетона при приложении нагрузки зависят от его состава, свойств составляющих материалов и других факторов.

Важное значение для расчета конструкций и оценки их поведения под нагрузкой имеют величины предельных деформаций, при которых начинается разрушение бетона.

Предельная сжимаемость бетона изменяется в пределах от 0,0015 до 0,0033, увеличиваясь при повышении прочности бетона. Предельная растяжимость бетона примерно в 15 – 20 раз меньше его предельной сжимаемости

и составляет 0,0001 – 0,0015.

Полные деформации бетона складываются из упругих и пластических деформаций: $\varepsilon_b = \varepsilon_e + \varepsilon_{pl}$. По мере возрастания напряжений доля последней возрастает, поэтому диаграмма зависимости $\sigma = f(\varepsilon)$ имеет криволинейный характер (рисунок 5.9).

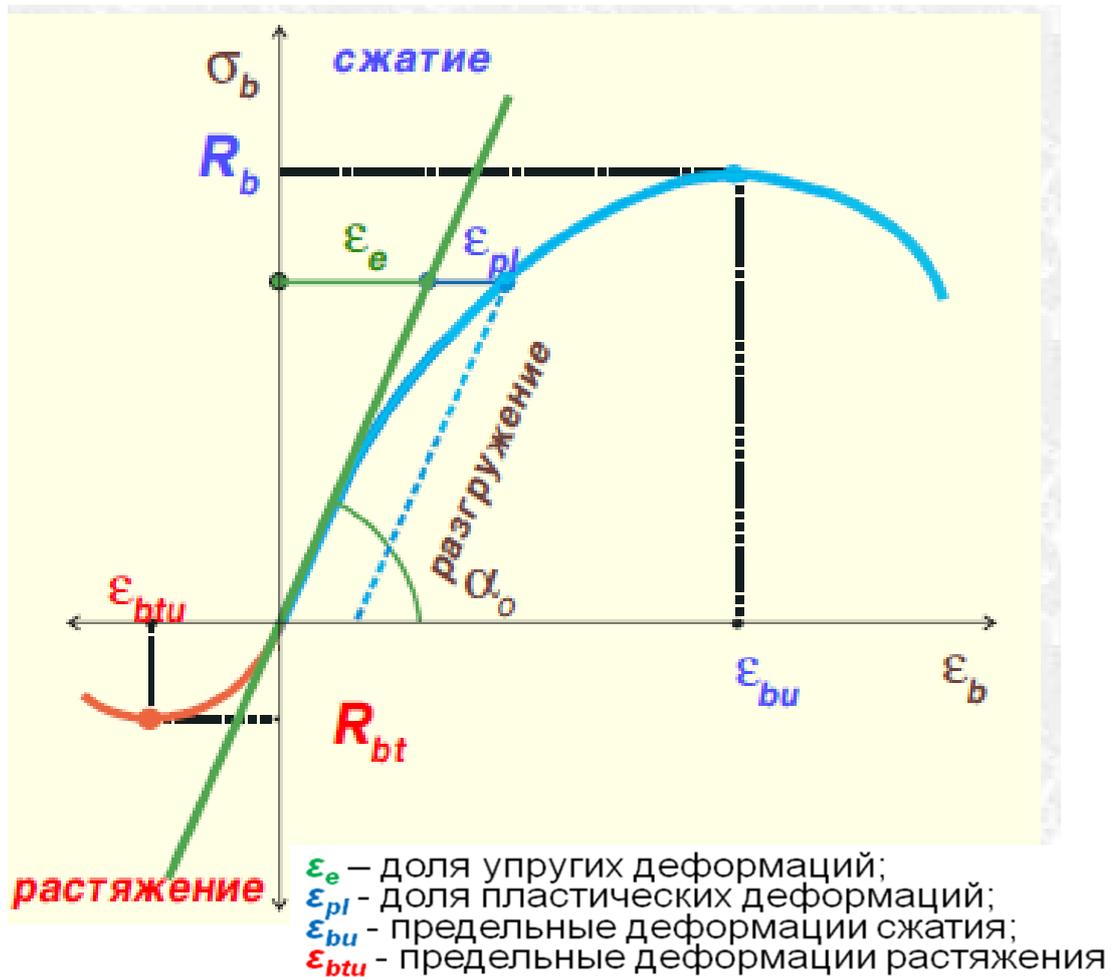


Рисунок 5.9 – Диаграмма работы бетона под нагрузкой

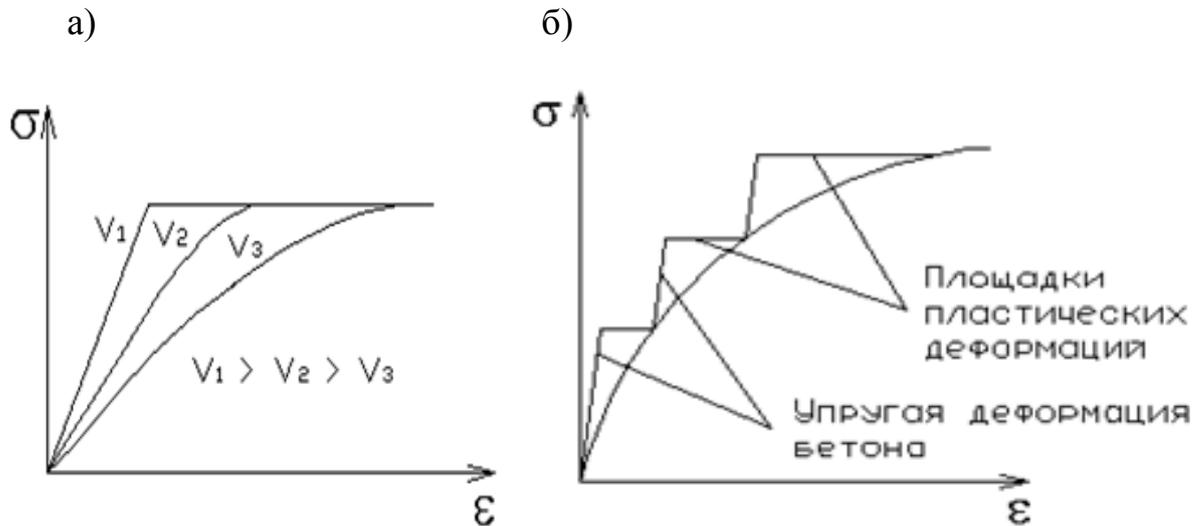
Из деформативных характеристик бетона особо следует выделить ползучесть, под которой понимают способность деформироваться во времени при длительном действии постоянной сжимающей, растягивающей или другой нагрузки.

Ползучесть бетона зависит от ряда причин:

- вида и качества цемента;
- гидратации цемента во время приготовления раствора, а также к моменту приложения нагрузки;
- факторов внешней среды (температура и степень влажности воздуха);
- степени уплотнения бетона и величина напряжений в нем;
- размера самой конструкции.

Величина деформаций ползучести не зависит от скорости нагружения,

а увеличивается с ростом напряжений, что хорошо видно из сравнения диаграмм работы бетона при нагружении образца с различными скоростями и поэтапном, ступенчатом нагружении, представленных на рисунке 5.10.



а – одинаковом с различными скоростями; б – ступенчатом

Рисунок 5.10 – Диаграмма работы бетона при нагружении

Классы и марки бетона. Класс бетона, в соответствии с европейскими стандартами, маркируется буквой «В» и числовым показателем, обозначающим предельную прочность на сжатие в МПа.

Марка бетона обозначается буквой «М» и числовым показателем, соответствующим среднему выдерживаемому давлению, измеряемому в $\text{кг}/\text{см}^2$.

Строительными нормами установлены *показатели качества бетона*:

Класс бетона по прочности на осевое сжатие B (МПа) – минимальное временное сопротивление сжатию бетонных кубов с размерами ребра 150 мм, испытанных в соответствии со стандартом через 28 суток хранения при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ установленное с доверительной вероятностью 0,95 значениями $B_{3,5} \div B_{80}$.

Назначают для всех видов бетонов и конструкций.

Класс бетона по прочности на осевое растяжение B_t устанавливают с доверительной вероятностью 0,95 значениями B_t 0,8 \div B_t 3,2. Назначают при главенствующем значении в работе конструкции и ее контролируют на производстве.

Марка бетона по средней плотности D – гарантированная собственная масса бетона ($\text{кг}/\text{м}^3$) $D_{200} \div D_{5000}$. Значима для конструкций, рассчитываемых по требованиям теплозащиты.

Марка бетона по самоупрочению S_p – значение предварительного напряжения в бетоне, МПа, создаваемого в результате его расширения при коэффициенте продольного армирования $\mu = 0,01$, и контролируется на образцах-призмах размером $10 \times 10 \times 40$ см. S_p 0,6 \div S_p 4.

Для самоупроченных конструкций, характеристику учитывают в рас-

чете и контролируют на производстве.

Марка бетона по морозостойкости F – нормированное минимальное число циклов замораживания и оттаивания образцов бетона, испытанных по стандартным базовым методам, при которых сохраняются их первоначальные физико-механические свойства в нормируемых пределах $F15 \div 1500$.

В нормах: число циклов, при котором кубиковая прочность снижается не более чем на 15 %.

Марка бетона по водонепроницаемости W – показатель проницаемости бетона, характеризующийся максимальным давлением воды, при котором в условиях стандартных испытаний вода не проникает через бетонный образец, нормируется в пределах $W 2 \div 20$.

В нормах: предельное давление воды ($\text{кг}/\text{см}^2$), при котором еще не наблюдается ее просачивание через испытываемый стандартный образец толщиной 15 см.

5.3. Свойства и основы технологии бетона

Физические свойства бетона опосредованно влияют на несущую способность, поэтому должны учитываться при проектировании в зависимости от условий эксплуатации конструкций: низкие или высокие температуры, агрессивная среда, подводная среда и пр.

К физическим свойствам бетона относятся:

Огнестойкость. Под воздействием высоких температур, в бетоне происходят различные негативные процессы:

- при температуре 250–300°C – снижается прочность, что сопровождается процессом разложения гидрата окиси кальция, при этом разрушается структура цементного камня;

- при температуре 550°C – зерна кварца, которые имеются в песке и щебне для бетона, начинают растрескиваться и кварц переходит в другую инстанцию – тридимит. Растрескивание обусловлено увеличением кварцевых зерен в объеме. При этом в структуре пласта возникают микротрещины в местах соприкосновения цементного камня с наполнителем;

- при температуре свыше 550°C – разрушаются прочие структурные элементы бетона.

Огнестойкость – способность бетона сохранять прочность при пожаре (1000–1100°C), т. к. бетон более огнестойкий материал, чем сталь, то повышение огнестойкости железобетонных конструкций достигается увеличением защитного слоя бетона до 3–4 см.

Коррозионная стойкость – способность бетона не вступать в химическую реакцию с окружающей средой. Повышение коррозионной стойкости бетонов при воздействии агрессивной среды достигается путем повышения плотности бетона, пропитки его полимерами, изменения минералогического состава клинкера, карбонизации и пуццоланизации, использованием сульфатостойкого цемента, а также применением глиноземистого цемента. В определенных случаях, связанных с необходимостью обеспечить коррозионную

стойкость бетона высокой прочности, целесообразно применять полимерцементные композиции, приготовленные на водной полимерной эмульсии в активизаторах.

Морозостойкость – способность бетона сохранять физико-механические свойства при многократном переменном замораживании и оттаивании – регламентируется маркой по морозостойкости F .

Основной причиной, вызывающей разрушение бетона в этих условиях, является давление на стенки пор и устья микротрещин, создаваемое замораживающей водой. При замораживании вода увеличивается в объеме более, чем на 9%. Повторяемость замерзания и оттаивания приводит к постепенному разупрочнению структуры бетона и к его разрушению.

По морозостойкости бетон подразделяют на марки $F50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500$. Не выдержавшими установленного маркой числа циклов замораживания при температуре $-15 (-20)^{\circ}\text{C}$ и оттаивания при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ считаются бетонные образцы, которые теряют в процессе испытаний более 15 % прочности на сжатие и более 5 % по массе от ее первоначального значения (для дорожных бетонов).

Морозостойкость бетона зависит от его строения, особенно от характера его пористости, так как последний будет определять объем и распределение льда, образующегося в бетоне при отрицательных температурах.

Существует два направления повышения морозостойкости бетона:

- повышение плотности бетона, уменьшение объема крупных пор и их проницаемости для воды, например, за счет снижения В/Ц, применения гидрофобизирующих добавок, пропитки бетона специальными составами, кольтирующими поры;

- создание в бетоне с помощью специальных воздухововлекающих или микрогазообразующих добавок резервного объема воздушных пор (более 20 % от объема замораживающей воды), не заполняемых при обычном водонасыщении бетона, но доступных для проникания воды под давлением, возникающим при ее замерзании.

Проницаемость – свойство бетона пропускать через себя газы или жидкости при наличии градиента давления регламентируется маркой по водонепроницаемости W . Она также в определенной мере определяет способность материала сопротивляться воздействию увлажнения и замерзания, влиянию атмосферных факторов и агрессивных сред.

Водопроницаемость бетона зависит от его пористости, структуры пор и свойств вяжущего и заполнителей. Мелкие поры и капилляры размером менее 10^{-5} см практически не проницаемы для воды (микропоры).

Микропоры и капилляры размером более 10^{-5} см доступны для фильтрации воды. Объем макропор в бетоне колеблется от 0 до 40% его объема. Макропористость бетона уменьшается при понижении В/Ц, увеличении степени гидратации цемента в процессе его твердения, уменьшении воздухововлечения в бетонную смесь, применении химических добавок, уплотняющих структуру бетона.

Плотные бетоны обычно не фильтруют воду, поэтому для их оценки

используют другое понятие – марку по водонепроницаемости. Оценка водонепроницаемости производится путем создания напора воды на бетонный образец цилиндрической формы толщиной 15 см при задаваемых ступенями гидростатических давлениях, выражаемых в Па – от $2 \cdot 10^5$ до $12 \cdot 10^5$. Установлены следующие марки бетона по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W10 и W12.

Основы технологии бетона. Основными составляющими технологии приготовления бетона, влияющими на качество бетонной конструкции являются *подбор и приготовление бетона, транспортировка, уплотнение и уход за бетоном.*

Подбор состава бетона.

1. *Исходные данные:* цемент: $\rho_{ц}$, марка или активность $R_{ц}$, $\rho_{нц}$; песок: ρ_n , $\rho_{нп}$, $M_{кр}$; щебень: $\rho_{нц}$, $\rho_{щ}$, V_n – пустотность щебня в долях $V_n = (\rho_{щ} - \rho_{нц})/\rho_{щ}$; наибольшая крупность D ; прочность бетона $R_{б}$, подвижность смеси (о.к.).

2. *Расчет:* $R_{б} = A R_c (Ц/В - 0,5)$; $Ц/В = 1,3-2,5$; $A = 0,6$;

$R_{б} = A1 R_c (Ц/В + 0,5)$; $Ц/В > 2,5$ (В40).

3. *Определение цементно-водного отношения* для обеспечения заданной прочности бетона:

$Ц/В = R_{б} / A R_{ц} \pm 0,5$.

4. *Назначение расхода воды В (л)* для обеспечения удобоукладываемости бетонной смеси (с учетом вида и прочности заполнителя).

5. *Расход цемента на 1 м³ бетонной смеси (кг):* $Ц = В \times Ц/В$.

6. *Расход заполнителей* рассчитывается исходя из условий:

– *сумма абсолютных объемов компонентов* равна объему бетонной смеси (1 м³):

$Ц/\rho_{ц} + П/\rho_n + Щ/\rho_{щ} + В/\rho_{в} = 1$;

– *объем растворной части* равен объему межзерновых пустот крупного заполнителя с учетом раздвижки зерен:

$Ц/\rho_{ц} + П/\rho_n + В/\rho_{в} = ЩV_{д}/\rho_{нц} \cdot K_{разд}$

Расход щебня и песка на 1 м³ бетонной смеси (кг):

$Щ = 1/(V_n + K_{разд}) / (\rho_{нц} + 1) / \rho_{щ}$

$П = [1 - (Ц/\rho_{ц} + Щ/\rho_{щ} + В/\rho_{в})] \rho_n$.

Плотность бетонной смеси: $\rho_{бс} = Ц + П + Щ + В$, кг/м³

Приготовление бетонной смеси производят на автоматизированных бетонных заводах и растворобетонных узлах (РБУ). Дозирование компонентов производят автоматическими весовыми дозаторами с точностью: цемент – 1%; песок и щебень – 2%. Перемешивание осуществляют в смесителях периодического или непрерывного действия, гравитационного или принудительного перемешивания. Смесители периодического действия: производительность до 36 м³/ч ($V = 2400$ л), непрерывного – до 120 м³/ч; время перемешивания: $V = 425$ л – 1 мин, $V = 1200$ л – 2 мин, $V = 2400$ л – 2,5 мин, для жестких смесей – в 1,5–2 раза больше.

Транспортировка – условие сохранения однородности и подвижности бетонной смеси, обеспечивается автосамосвалами, при перевозке менее 1 часа и специальными автобетономешалками при продолжительности более 1

часа.

Уплотнение. Наиболее распространенным способом уплотнения бетонной смеси является *вибрирование*. В процессе вибрирования частые колебания вибратора передаются всем частицам бетонной смеси. В результате снижаются силы внутреннего трения и бетонная смесь приобретает свойства тяжелой жидкости и способна легко заполнять форму. Эффективность виброуплотнения зависит от двух параметров – интенсивности и продолжительности вибрирования.

В свою очередь, интенсивность виброуплотнения зависит от амплитуды и частоты колебаний и вычисляется по формуле В.Н. Шмигальского:

$$U = 8\pi^3 \cdot a^2 \cdot f^3,$$

где U – интенсивность виброуплотнения, $\text{см}^2/\text{с}^3$;

a – амплитуда колебаний, мм;

f – частота колебаний, Гц.

Для каждой бетонной смеси существует своя оптимальная продолжительность вибрирования, превышение которой не дает прироста плотности и даже может привести к расслаиванию смеси. Виброуплотняют бетонную смесь стационарными или переносными (поверхностными, глубинными) вибромеханизмами различных типов.

Кроме вибрирования бетонной смеси имеются и другие эффективные методы ее уплотнения: прессование, центрифугирование, вакуумирование.

Прессование позволяет получать бетон особо высокой плотности и прочности при минимальном расходе цемента ($100 - 150 \text{ кг/м}^3$ бетона). Широкому распространению этого способа препятствуют экономические причины: бетон начинает интенсивно уплотняться при прессующем давлении $10-15 \text{ МПа}$ и выше. Для уплотнения изделия на каждый 1 м^2 его поверхности следует принимать нагрузку $100000 - 150000 \text{ МПа}$. Прессы такой мощности в технике применяют для уплотнения бетона крупноразмерных изделий. По этим причинам способ прессования применяется только при формировании штучных изделий небольшого размера, например, тротуарной плитки.

Центрифугирование осуществляет уплотнение бетонной смеси за счет центробежных сил, возникающих при вращении ее с большей скоростью. Для этого бетонную смесь загружают в трубчатую форму, которая установлена на центрифуге. Она обеспечивает скорость вращения от 600 до 1000 об/мин. Под действием центробежных сил бетонная смесь прижимается к внутренней поверхности формы, а вода, как более легкая составляющая, отжимается в центр формы, откуда и стекает. В результате из бетонной смеси удаляется до $20-30 \%$ воды, что существенно повышает плотность и прочность бетона. Центрифугирование позволяет получить высокопрочные бетоны марок $400 - 600$, но при значительном расходе цемента (порядка 450 кг/м^3). Методом центрифугирования формируют трубы, опоры линий электропередач, стойки под светильники.

Вакуумирование, осуществляемое разрежением до $0,07 - 0,08 \text{ МПа}$ с использованием вакуум-насосов, обеспечивает удаление из бетонной смеси

воздуха, вовлеченного при ее приготовлении и укладке, а также избыточной части воды затворения. Освободившееся при этом место в смеси занимают твердые частицы, в результате чего увеличивается плотность и на 50 – 70% повышается прочность вакуумированного бетона. Однако толщина слоя, которая может быть вакуумирована, не превышает 12 – 15 см. Вследствие этого, вакуумированию подвергают преимущественно массивные конструкции (плотины, шлюзы и т.д.) для придания их поверхностному слою повышенной плотности и прочности.

Твердение бетона и уход за ним. Приготовленный и уложенный в форму (опалубку) бетон набирает прочность постепенно, по мере твердения цементного камня. В начальный период (первые несколько суток) нарастание прочности происходит интенсивно, а далее постепенно замедляется. При этом скорость нарастания прочности зависит от температуры и влажности среды. Нормальными условиями для твердения цементного бетона считаются: температура 20 ± 2 °С и относительная влажность воздуха до 100%. В таких условиях под влиянием химических реакций минералы, из которых состоят цементные частицы, постепенно превращаются в новые стабильные образования – гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферриты кальция. Этот процесс самотормозящийся и может длиться годами.

В некоторых случаях можно допустить более долгий срок твердения бетона – при возведении морских сооружений, дамб, плотин, набережных, мостов и других гидротехнических сооружений. Они строятся медленно, а поэтому полная нагрузка может быть приложена и бетону через довольно долгое время. Поэтому марку гидротехнического бетона определяют в возрасте не 28, а 180 суток. При строительстве ГТС можно также учитывать 90-суточную прочность бетона, которая примерно на 20% выше 28-суточной.

С повышением температуры скорость химических реакций взаимодействия цемента с водой увеличивается, и твердение бетона ускоряется, но при обязательном условии обеспечения влажности среды. При испарении влаги из бетона его твердение практически прекращается. При этом в обезвоженном бетоне образуются трещины и снижается прочность, поэтому в жаркое время необходимы специальные меры защиты свежеложенного бетона.

Состав мероприятий, обеспечивающих благоприятные условия твердения уплотненной бетонной смеси, а также способы, предохраняющие бетон от повреждения в раннем возрасте факторами окружающей среды, составляет систему ухода за твердеющим бетоном. Уход должен быть организован сразу после укладки и уплотнения бетонной смеси и, прежде всего, нужно защитить поверхность от высыхания.

Пока температура не превышает 20-25°С, бетону необходима лишь влага. Поэтому в первые две недели бетон поливают водой и закрывают от ветра рогожей или матами. Если же температура воздуха повышается выше 35°С, то уже необходимы дополнительные меры защиты.

Одним из эффективных методов ухода за свежеложенным бетоном в гидротехническом строительстве является покрытие его поверхности пленкообразующими веществами (битумные эмульсии, латексы и др.). Наряду с

этим, горизонтальные поверхности после схватывания бетона покрывают песком или опилками и периодически увлажняют.

Высокая температура (порядка 80-100°C) при обеспечении влажности среды значительно ускоряет химические реакции в бетоне, и в течение 12-16 часов, можно получить бетон с прочностью порядка 70% от марочной (28-суточной) прочности. Именно так и поступают при заводском изготовлении плит, балок, колонн и других сборных железобетонных конструкций.

Если еще больше повысить температуру, то при 170-180°C за те же 2-16 часов прочность бетона превысит годичный уровень его прочности при твердении в нормальных условиях. Однако при таком сильном прогреве бетон очень быстро высыхает и перестает твердеть, если не обеспечить влажность среды. Это возможно при обработке бетона паром высокого давления (порядка 0,8-1,2 МПа или 8-12 атм.) в специальных аппаратах – автоклавах. Такой технологический процесс называется *автоклавной* обработкой. В условиях автоклавной технологии цемент можно заменить известью, а крупный заполнитель песком без существенного ущерба для прочности и качества изделий. По такой технологии получают силикатный кирпич и силикатные бетоны.

С понижением температуры скорость химических реакций твердения замедляется. Бетон очень чувствителен к холоду на стадии его раннего твердения. Так, например, при снижении температуры с 20°C до 5°C схватывание бетона замедляется в 2-5 раз, а скорость нарастания прочности снижается на порядок. При температуре ниже 0°C твердение прекращается полностью, так как вода в бетоне замерзает, и реакции твердения прекращаются из-за отсутствия свободной воды. Замерзая в бетоне, вода увеличивается в объеме примерно на 9%. В результате этого в порах бетона развивается большое давление, которое разрушает структуру еще не затвердевшего в достаточной мере бетона.

При оттаивании бетона замерзшая свободная вода снова превращается в жидкость и твердение бетона возобновляется. В нем происходят те же процессы, что и до замораживания, но уже при изменившейся поврежденной структуре. Конечная прочность бетона будет тем ниже, чем раньше бетон подвергся замораживанию. Поэтому бетон, укладываемый зимой, предохраняют от замерзания в течение срока, необходимого для приобретения им порядка 30-50% проектной прочности.

Зимнее бетонирование. Обеспечение нормальных условий твердения бетона зимой до набора требуемой прочности достигается двумя способами: использованием внутреннего тепла бетона и дополнительным обогревом бетона подачей тепла извне.

Внутренний запас тепла в бетонной смеси создают путем подогрева воды, песка и щебня или гравия. Их нагревают до такой степени, чтобы температура бетонной смеси на выходе из бетономешалки не превышала 30°C, так как при более высокой температуре смесь быстро густеет и теряет удобоукладываемость. Воду затворения можно подогревать до 80°C, заполнители – до 40°C, цемент подогревать не разрешается. Подогретую бетонную смесь

защищают от охлаждения во время транспортировки к месту укладки, используя обогреваемые или утепленные средства транспортировки. На месте зимнего бетонирования конструкций бетонную смесь укладывают в утепленную опалубку и укрывают отформованные изделия сверху теплоизоляционным материалом (опилками, шлаком, камышитом и др.). Толщина покрытия определяется теплотехническим расчетом. Этот способ зимнего бетонирования называется «термос». Он особенно эффективен при бетонировании массивных конструкций при отношении площади охлаждающейся поверхности к объему (модуль поверхности) не более шести.

При зимнем бетонировании тонких конструкций свежееуплотненную бетонную смесь подогревают снаружи паром или электрическим током.

Пар обычно подают между стенками двойной опалубки; иногда пар пропускают по трубам, уложенным внутри бетона. Такой способ позволяет через 1-2 суток получить 60-70% марочной прочности.

Электропрогрев бетона производят переменным током с применением поверхностных и внутренних электродов. При изготовлении железобетонных конструкций одним из электродов служит арматура. За счет прохождения тока в бетоне выделяется тепло, в результате чего он разогревается (не свыше 60°C из-за возможной местной пересушки бетона) и быстро твердеет.

При бетонировании в зимних условиях конструкций с большой поверхностью охлаждения (покрытия дорог, облицовки каналов и т.д.) в бетонную смесь вводят специальные противоморозные добавки, понижающие температуру замерзания воды и ускоряющие твердение бетона при отрицательных температурах. Такими добавками могут служить хлористый кальций, нитрит натрия, аммиачная вода и др. Бетон с такими добавками, не требующий подвода тепла для твердения на морозе, называется холодным бетоном. Так же как и бетон, изготавливаемый с подогревом, холодные бетоны распалубливают только после окончания заданного срока твердения, обеспечивающего набор требуемого уровня прочности, определяемого проектом сооружения.

Контрольные вопросы

- 1. Что представляет собой бетон и как его классифицируют?*
- 2. Дайте характеристику состава бетона.*
- 3. Перечислите важнейшие свойства бетонной смеси.*
- 4. Особенности структуры бетона.*
- 5. Перечислите основные характеристики бетона.*
- 6. Приведите свойства, назовите классы и марки бетона.*
- 7. Приведите основные положения технологии бетона.*
- 8. Перечислите методы уплотнения бетона.*
- 9. Укладка и уход за бетоном.*
- 10. Особенности зимнего бетонирования.*

ЛЕКЦИЯ 6. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ БЕТОН

Вопросы:

- 6.1. Особенности, свойства и виды гидротехнического бетона.
- 6.2. Свойства бетонной смеси и основы технологии гидротехнического бетона.
- 6.3. Требования к применению гидротехнического бетона.

6.1. Особенности, свойства и виды гидротехнического бетона

Гидротехническим называют бетон, применяемый для возведения сооружений или отдельных их частей, постоянно или периодически омываемых водой. Гидротехнический бетон является разновидностью плотных тяжелых цементных бетонов, обладающих свойствами, обеспечивающими длительную службу конструкций в указанных выше условиях. Гидротехнический бетон придает жесткость конструкциям, и наряду с водостойкостью в широком температурном диапазоне, придает сооружениям стойкость к значительным статическим и динамическим нагрузкам.

Эксплуатационные характеристики гидротехнического бетона определяются соотношением цемента и воды, виброуплотнением, качеством добавок и временем выдержки смеси.

Основой гидротехнического бетона могут служить несколько видов цемента:

Пластифицированный или портландцемент. Применяется при возведении зданий в местностях с непостоянным уровнем вод и, где большую часть года преобладают отрицательные температуры.

Гидрофобный – предназначен для сооружений, которые постоянно контактируют с водной средой.

Сульфатостойкий – для объектов, подвергающихся воздействию жесткой воды.

Шлаковый или пуццолановый – предупреждает разрушение сооружений под воздействием воды с агрессивным минеральным составом. Пуццолановый цемент отличается низким водоотделением и устойчивостью к агрессивной среде, однако при его использовании раствор теряет в морозостойкости.

Помимо цемента, гидротехнический бетон содержит добавки, каждая из которых придает смеси определенные свойства. Кварцевый песок высокой плотности улучшает гидроизоляционные показатели, а также повышает стойкость к физическим нагрузкам. Благодаря щебню и гравиям раствору не страшен мороз и резкие колебания температуры. Микронаполнители (зола-уноса) снижают расход цемента, уменьшают объемную деформацию и тепловыделение.

Гидротехнический бетон классифицируется по различным признакам и особенностям.

По структуре частиц он бывает: литым и мелкозернистым.

По условиям эксплуатации:

- подводный, находящийся постоянно в воде;
- расположенный в зоне переменного уровня воды;
- надводный, находящийся выше зоны переменного уровня воды, эпизодически омываемый водой;
- расположенный во внутренних частях массивных сооружений.

По пределу прочности при сжатии в возрасте 180 суток нормального твердения гидротехнический бетон делят на марки 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500 (восемь классов по прочности от В7,5 до В40).

По морозостойкости гидротехнический бетон характеризуется семью марками от F100 до F500, устанавливаемыми по количеству стандартных циклов попеременного замораживания и оттаивания бетонных образцов в возрасте 28 суток нормального твердения.

По водонепроницаемости в возрасте 180 суток гидротехнический бетон делят на четыре марки: W2, W4, W6 и W8 (стандартные образцы выдерживают соответственно давление воды 2, 4, 6 и 8 атмосфер или 0,2; 0,4; 0,6 и 0,8 МПа).

По действию силы напора воды:

- напорные конструкции;
- безнапорные.

По размещению сооружений относительно сфер воздействия:

- конструкции внутренней зоны;
- наружной.

Требования по прочности, водонепроницаемости и морозостойкости гидротехнического бетона дифференцированы в зависимости от условий его работы в конструкции. Особенно высокие показатели качества нормируют для бетонов, предназначенных для конструкций и сооружений в зонах переменного уровня воды.

Достоинства и недостатки гидротехнического бетона. Главные преимущества гидротехнического бетона:

- высокий уровень водонепроницаемости, независимо от конкретных условий эксплуатации;
- хорошие показатели гидроизоляции, благодаря чему раствор не боится резки и ощутимых перепадов температур
- высокий показатель прочности
- высокая морозостойкость, за счет минимального объема воды в смеси.

Из недостатков стоит отметить высокую стоимость, необходимость наличия у мастера определенных навыков и знаний для соблюдения технологии, невозможность выполнить работы без привлечения специальной техники, инструмента.

Бетон очень быстро застывает, поэтому появляются проблемы с его доставкой, обычно смесь при небольших объемах изготавливают непосредственно на строительной площадке, при больших объемах – на специализированных бетонных заводах строительного комплекса объекта.

6.2. Свойства бетонной смеси и основы технологии гидротехнического бетона

В связи с тем, что гидротехнический бетон находится в специфических эксплуатационных условиях, к составу и материалам для его приготовления предъявляются особые требования, которые должны соответствовать техническим характеристикам, отвечающим конструктивным и функциональным особенностям сооружения.

Цемент – основной ингредиент любого бетона, к нему предъявляются требования, в зависимости от условий будущего использования, согласно ГОСТ 26633–2015 применяют:

– для бетонов внутренней и подводной зоны сооружения – сульфатостойкие цементы по ГОСТ 22266, портландцемент и шлакопортландцемент по ГОСТ 10178, или цементы типов ЦЕМ I-ЦЕМ V по ГОСТ 31108;

– для бетона наружной зоны и зоны переменного уровня воды – сульфатостойкие цементы типов ЦЕМ I СС, ЦЕМ II/A-Ш СС, ЦЕМ II/B-Ш СС по ГОСТ 22266, портландцемент ПЦ Д0-Н и ПЦ Д20-Н с минеральной добавкой гранулированного доменного шлака до 15% по ГОСТ 10178.

Заполнители для гидротехнического бетона должны удовлетворять более высоким требованиям, чем для обычного бетона. Лучше всего применять природные кварцевые пески, а щебень или гравий – из изверженных или осадочных пород, водостойкость и морозостойкость которых подтверждены соответствующими испытаниями. Содержание глинистых, илистых и пылевидных примесей в заполнителях для гидротехнического бетона не должно превышать 1-2 %. Заполнители необходимо проверить на содержание органических примесей: если они дают при испытании окраску темнее эталона, то песок следует проверить испытаниями в растворе, а крупные заполнители – в бетоне. Содержание сернокислых и сернистых соединений в пересчете на SO_3 допускается не более 1 % (по массе) для песка и 0,5 % для щебня.

Особое внимание следует уделять зерновому составу заполнителя: по возможности обогащать песок, а при использовании сортового крупного заполнителя соотношения между фракциями рекомендуется назначать в соответствии с ГОСТ 26633–2015 (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Содержание отдельных фракций крупного заполнителя в составе бетона

Наибольшая крупность зерен, мм	Содержание фракций (мм) в крупном заполнителе, %				
	5-10	10-20	20-40	40-80	80-120
10	100	–	–	–	–
20	25-40	60-75	–	–	–
40	15-25	20-35	40-65	–	–
80	10-20	15-25	20-35	35-55	–
120	5-10	10-20	15-25	20-30	25-35

Для гидротехнического бетона применяются пески крупностью до 5мм, представляющие собой природные или обогащенные смеси зерен твердых и плотных каменных пород или искусственные смеси, полученные дроблением

твердых и плотных каменных пород.

Применение песков, состоящих из зерен плотных осадочных пород (известняков, доломитов и т.п.), а также рыхлых изверженных пород (туфа, пемзы и др.) или промышленных отходов (золошлаковые смеси, хвосты обогащения руды и т.д.) допускается только после технико-экономического обоснования. Зерновой состав песка для приготовления гидротехнического бетона должен соответствовать данным, представленным в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Рекомендуемый зерновой состав песка

Размер отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на контрольных ситах, % по массе
5	0
2,5	0–25
1,25	10–55
0,63	25–75
0,315	40–90
0,14	80–100

Зерновой состав заполнителей должен обеспечивать минимальный объем пустот при возможно большем количестве крупных зерен. Это снижает расход цемента, в результате чего уменьшается выделение тепла и деформативность бетона при твердении.

Для бетонов внутренней зоны гидротехнических сооружений допускается применение песка с содержанием пылевидных и глинистых частиц до 15% при обеспечении проектных требований по прочности и водонепроницаемости.

Содержание пылевидных и глинистых частиц в мелком заполнителе для бетона, применяемого в зоне переменных уровней воды и зоне воздействия высокоскоростных потоков, не должно превышать 2,0% массы. Глина в комках в крупном и мелком заполнителях для бетона гидротехнических сооружений не допускается. Содержание слюды в мелком заполнителе для бетона гидротехнических сооружений, не должно превышать: 1 % от массы – для бетона зоны переменного уровня воды; 2 % – для бетона надводной наружной зоны; 3 % – для бетона внутренней и подводной зон.

В качестве крупного заполнителя для гидротехнического бетона должны применяться гравий или щебень из гравия, или смесь гравия и щебня с показателем средней плотности не менее $2,4 \text{ т/м}^3$, с пределом прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии исходной горной породы не менее 250-300% требуемой марки бетона. Содержание игловатых и лещадных зерен - не более 15% по массе. Прочность изверженных горных пород, подлежащих дроблению на щебень, для бетона конструкций зоны переменного уровня воды должна быть не менее 100 МПа.

Для бетонов поверхностей, выходящих к высокоскоростному потоку воды (водосливы, облицовки тоннелей и т.д.), следует применять щебень, щебень из гравия и валунов или гравий с прочностью по дробимости не ниже 1000, марки по истираемости в полочном барабане И-1. Допускается при строительстве массивных гидротехнических сооружений применение щебня

и гравия с зернами размером от 120 до 150 мм. При использовании гравия (валунов) с размером зерен более 150 мм его (их) следует вводить непосредственно в блок бетонирования при укладке бетонной смеси.

Вода, применяемая для затворения бетонной смеси, не должна содержать вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению цемента, и соответствовать требованиям ГОСТ 23732. Не разрешается применять для затворения бетонной смеси и поливки гидротехнического бетона воду с водородным показателем pH менее 4 и более 12.5, а также при содержании сульфатов в расчете на SO_3 более 0,27%.

Удобоукладываемость бетонной смеси для гидротехнического бетона принимают в соответствии с данными таблицы 6.3.

Таблица 6.3 – Рекомендуемая удобоукладываемость бетонных смесей

Вид конструкций	Жесткость, с	Осадка конуса, см	
		на обычном песке	на мелкозернистом песке
Массивные бетонные и малоармированные с содержанием арматуры до 0,5%	20-30	2-4	1-3
Железобетонные с содержанием арматуры до 1%	10-20	4-8	3-6
То же, более 1%	5-10	8-14	6-10

Расход цемента в гидротехническом бетоне должен быть больше минимальных значений, обеспечивающих нерасслаиваемость бетонной смеси (таблица 6.4), и в то же время по условиям тепловыделения его не должно быть более 350 кг/м^3 для массивных конструкций и 400 кг/м^3 – немассивных.

Таблица 6.4 – Минимальный расход цемента, кг/м^3 , для получения нерасслаивающейся бетонной смеси

Смесь	Предельная крупность заполнителей, мм			
	10	20	40	70
Особо жесткая	160	150	140	130
Жесткая	180	160	150	140
Малоподвижная	200	180	160	150
Подвижная	220	200	180	160
Литая	250	220	200	180

Состав смеси. В качестве примера подготовки состава бетонной смеси в условиях строительной площадки, рассмотрим гидротехнический бетон марки М400, составляющий значительный объем строительства, с усредненными характеристиками:

- прочность – класс В30;
- плотность – 2500 кг/м^3 ;
- влагозащищенность – класс W8;
- пластичность – ПЗ;
- жесткость – ЖЗ;
- усадка – 5-6 сантиметров;
- морозостойкость – 250-300 циклов.

Пропорциональный состав (цемент марки М500): 1 часть цемента; 1,6

части мелкозернистого наполнителя; 3,2 части крупнозернистого наполнителя – массовые значения компонентов смеси из расчёта на 1 кубометр бетона:

- 390-410 килограмм цемента;
- 150-170 литров воды;
- 640-660 килограмм песка;
- 690-710 килограмм щебня фракции 20 миллиметров;
- 450-460 килограмм щебня фракции 10 миллиметров;
- 3-10 килограмм добавок.

Укладка и уход. В связи со своими особенностями водостойкий бетон должен укладываться в сжатые сроки и большими объемами. Для обеспечения сохранности свойств при укладке, бетонная смесь должна отвечать требованием уменьшенного тепловыделения при высыхании, значение которого ограничивается допустимым увеличением температуры, назначенным с целью сведения к нулю возможностей образования трещин в элементах гидротехнических сооружений толщиной от 2,5 м.

На строительстве крупных сооружений (гидростанций, плотин и т. д.) применяют непрерывно-поточную укладку.

Для возведения подводных частей сооружений, например затопленных оголовков русловых водозаборов, днищ их опускных колодцев и наносных станций (при погружении без водоотлива), а также при их ремонте и восстановлении применяют методы подводного бетонирования. Подводное бетонирование выполняют различными методами, в том числе методом вертикально перемещающейся трубы (ВПТ), восходящего раствора (ВР), укладкой бункерами, втрамбованием бетонной смеси, укладкой в мешках.

При зимнем бетонировании необходимо обеспечить такой режим укладки и твердения бетона, при котором он к моменту замерзания приобретет необходимую прочность, называемую критической. Применяют следующие способы укладки бетона зимой: безобогревные способы выдерживания (способ термоса и термоса с добавками – ускорителями твердения, противоморозными добавками); способы искусственного подогрева или прогрева конструкций (электротермообработка бетона, применение греющей опалубки и покрытий, обогрев паром, горячим воздухом или в тепляках).

Для всех разновидностей гидротехнического бетона бетонную смесь необходимо укладывать с максимальным уплотнением. Уплотнение бетонной смеси, необходимое для улучшения качества и прочности бетонных конструкций, осуществляют вибрированием или вакуумированием.

За твердеющим бетоном нужно обеспечить тщательный уход, а также создать влажностный и температурный режимы, предотвращающие неравномерные объемные деформации конструкции, снижающие долговечность сооружения.

6.3. Требования к применению гидротехнического бетона

Конструкции на основе гидротехнического бетона требуют специальных мер к возведению и эксплуатации, их подразделяют на *массивные* и *не-*

массивные. Так, например, наряду с общими показателями оценки состояния бетона, как основного строительного материала, массивные конструкции особо требовательны к регулированию температурных напряжений, возникающих при выделении теплоты в бетоне при его твердении.

Проектные требования к гидротехническому бетону, предусматривают соответствие основным характеристикам бетона по водостойкости, водонепроницаемости, морозостойкости, прочности и др., и предъявляются дифференцированно с учетом его зонального распределения в конструкциях (табл. 6.5).

Таблица 6.5 – Требования к гидротехническому бетону по зонам

Требования, предъявляемые к бетону	Массивные сооружения						Немассивные сооружения		
	Наружная зона			Внутренняя зона					
	Зоны относительно уровня воды								
	под-водная	пере-менного уровня	над-водная	под-водная	пере-менного уровня	над-водная	под-водная	пере-менного уровня	над-водная
Водостойкость	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Водонепроницаемость	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Морозостойкость	-	+	+	-	-	-	-	+	+
Малое тепловыделение	+	+	+	+	+	+	-	-	-

Примечание. Знак "+" означает, что требование предъявляется.

К массивным, относятся бетонные и железобетонные конструкции и сооружения, размер которых в поперечнике может достигать нескольких метров. Наиболее характерными массивными сооружениями являются бетонные плотины.

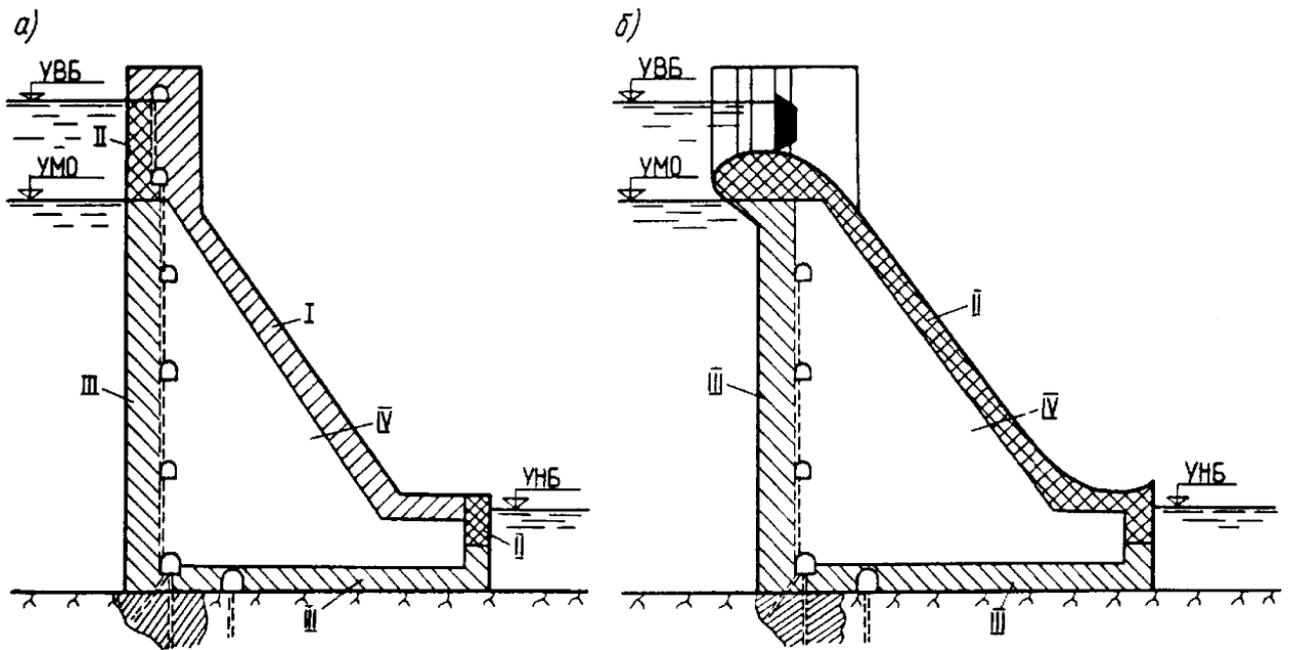
В бетонных и железобетонных плотинах и их элементах в зависимости от условий работы бетона в эксплуатационный период различают следующие зоны (рисунок 6.1):

I – наружные части плотин и их элементов, находящиеся под атмосферным воздействием, не омываемые водой;

II – наружные части плотин в пределах колебания уровней воды в верхнем и нижнем бьефах, а также части и элементы плотин, периодически подвергающиеся действию потока воды: водосбросы, водоспуски, водовыпуски, водобойные устройства и др.;

III – наружные, а также примыкающие к основанию части плотин, расположенные ниже минимальных эксплуатационных уровней воды верхнего и нижнего бьефов;

IV – внутренняя часть плотин, ограниченная зонами I–III, в том числе бетон конструкций, прилегающий к замкнутым полостям контрфорсных плотин.



а – глухая плотина; б – водосливная плотина;
I – IV – зоны плотины

Рисунок 6.1 – Распределение бетона тела плотины по зонам

В зависимости от зон бетонных и железобетонных плотин всех классов к бетону предъявляют требования, приведенные в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Требования к бетону при возведении бетонных и железобетонных плотин

Требования	Зоны плотин	
	бетонных	железобетонных
Прочность на сжатие	I, II, III, IV	I, II, III
Прочность на растяжение	I, II, III	I, II, III
Водонепроницаемость	II, III, IV	II, III, IV
Морозостойкость	I, II,	I, II
Предельная растяжимость	I, II, III, IV	не предъявляется
Стойкость против агрессивного воздействия воды	II, III	II, III
Сопrotивляемость истиранию потоком воды при наличии наносов	II	II
Тепловыделение при твердении бетона	I, II, III, IV	Предъявляется при соответствующем обосновании

Конкретные показатели тех или иных свойств бетона, соответствующие требованиям, приведенным в таблице 6.6, назначают дифференцированно в соответствии с конструктивными особенностями сооружений и фактическими условиями работы различных зон.

Тонкостенные конструкции с применением гидротехнического бетона широко применяют в водохозяйственном строительстве, судостроении, транспортном строительстве, берегоукрепительных работах и др.

Толщина тонкостенных конструкций, например, железобетонных плит для облицовки оросительных каналов, корпусов плавучих сооружений, находится в пределах 8...20 см.

Гидротехнический бетон в тонкостенных конструкциях не требует температурного регулирования для обеспечения трещиностойкости, однако подвергается воздействию большого числа эксплуатационных факторов, которое может быть еще более жестким, чем в массивных сооружениях.

Например, бетонная облицовка каналов оросительных систем может одновременно испытывать около 30 видов нагрузок и всевозможных их сочетаний: гидростатическое и гидродинамическое давление, попеременное водонасыщение и высушивание, замораживание и оттаивание, нагревание и охлаждение, разрушающее действие потока воды и насосов, движущегося льда, напряжения и деформации в результате осадки и просадки сооружений, пучения грунта и др.

В не менее жестких условиях находятся железобетонные конструкции плавучих сооружений (действие постоянных, статически и динамически переменных нагрузок, климатических факторов, солей морской воды, водорослей и живых организмов и др.). Учет всех нагрузок и воздействий при выборе качественных параметров бетона тонкостенных конструкций гидротехнических сооружений весьма сложен.

Тонкостенные конструкции обычно испытывают проектные воздействия в значительно более раннем возрасте, чем массивные, которые возводят длительное время и воспринимают рабочие нагрузки в возрасте не менее 180 суток. Классы бетона по прочностным показателям для тонкостенных железобетонных конструкций назначают, как правило, в возрасте 28 суток после их расчета на прочность и трещиностойкость с учетом необходимых нормативных и расчетных сопротивлений, требований по морозостойкости, водонепроницаемости и других эксплуатационных воздействий.

Классы бетона для тонкостенных конструкций отвечают значениям гарантированной прочности бетона, МПа, с обеспеченностью 0,95, в то время как в массивных сооружениях допускается применение бетона с обеспеченностью гарантированной прочности 0,9.

Для возведения гидротехнических сооружений с применением тонкостенных конструкций распространено применение сборных железобетонных элементов заводского изготовления.

Для гидротехнических бетонов прочность в проектном возрасте характеризуется в соответствии с ГОСТ 26633-2015 классами по прочности на сжатие (В3.5...В120), осевое растяжение (В_{0,8}...В_{4,8}) и растяжение при изгибе (В_{тб1,2}...В_{тб10,0}). По средней плотности гидротехнический, как и обычный тяжелый бетон, бывает марок D2000...D2500 и мелкозернистый бетон марок D1800...D2300.

Комплекс проектных требований к гидротехническим бетонам обеспечивается выбором исходных материалов и добавок и проектированием составов бетонных смесей в соответствии с условиями эксплуатации с учетом рекомендуемых ограничений (таблица 6.7).

Таблица 6.7 – Рекомендуемые предельно допустимые величины В/Ц для гидротехнического бетона

Условия эксплуатации	Немассивные железобетонные конструкции в воде		Наружная зона конструкций массивных сооружений в воде	
	морской	пресной	морской	пресной
Зона переменного уровня, климатические условия:				
особо суровые	0,42	0,47	0,45	0,48
суровые	0,45	0,50	0,47	0,52
умеренные	0,50	0,55	0,55	0,58
Подводная зона:				
напорные	0,55	0,58	0,56	0,58
безнапорные	0,60	0,62	0,62	0,62
Надводная зона				
эпизодически омываемые водой	0,55	0,60	0,65	0,65

Для элементов гидротехнических сооружений, подвергающихся в процессе эксплуатации попеременному замораживанию и оттаиванию, назначают марки бетона по *морозостойкости* (F): 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1000. При ограничении проницаемости, повышенной плотности и коррозионной стойкости бетона нормируют марки по *водонепроницаемости* (W): 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20.

Кроме проектных требований по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости, для гидротехнического бетона в соответствии с условиями работы и нормами проектирования возможно назначение ряда дополнительных требований.

Требования по механическому износу. Облицовки гидротехнических сооружений (туннелей, водобоев, водосливов, устоев и бычков плотин, морских и речных берегоукрепительных сооружений и др.), особенно расположенных на горных реках, подвергаются механическому износу – истиранию наносами, которые несут водные потоки. Причём износ вызывается как истирающим, так и ударным воздействием наносов.

Уменьшение толщины бетона в результате износа вызывает фильтрацию воды, выщелачивание и развитие других видов коррозии. Истирающему воздействию наносов подвергается, прежде всего, цементный камень как менее стойкая составная часть бетона. Наибольшим сопротивлением истиранию обладают бетоны на алитовых цементах со значительной удельной поверхностью, а наименьшим – на цементах с повышенным содержанием белита. Истираемость бетона на круге истирания G_i в г/см^2 , характеризуется потерей массы образца, разделяют на три класса:

$G1$ ($0,7 \text{ г/см}^2$) – для конструкций, работающих в условиях повышенной интенсивности движения (плиты дорожных и аэродромных покрытий, плиты тротуаров на магистральных проездах и т.п.);

$G2$ ($0,8 \text{ г/см}^2$) – для конструкций, работающих в условиях средней интенсивности движения (элементы лестниц общественных и производственных зданий и сооружений, плиты для полов подземных переходах и т.п.);

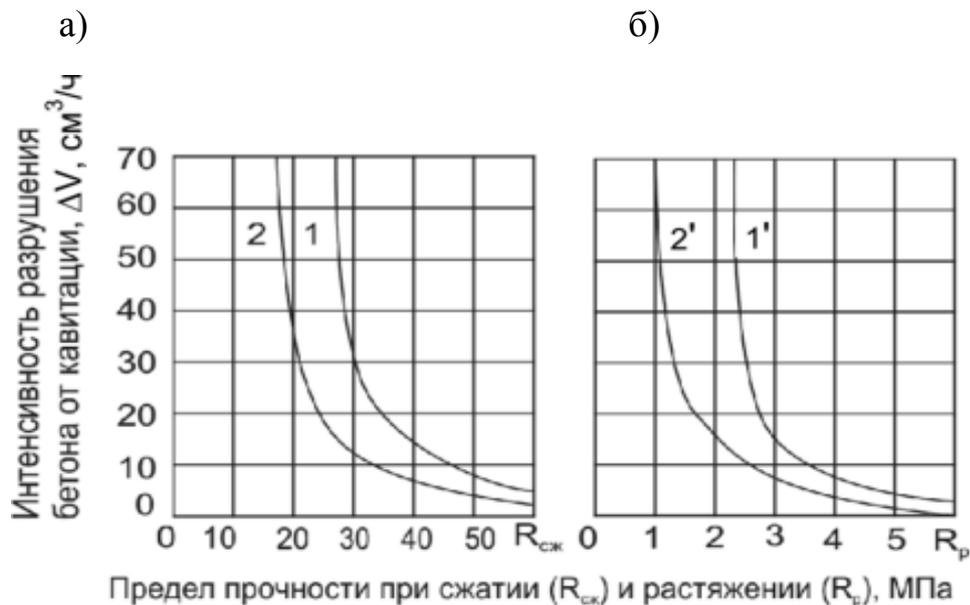
$G3$ ($0,9 \text{ г/см}^2$) – для конструкций, работающих в условиях малой интенсивности движения (элементы лестниц жилых зданий, плиты для покрытий дорог и тротуаров во внутриквартальных проездах и т.п.).

Стойкость бетона к ударным воздействиям увеличивается почти линейно при прочих равных условиях с ростом прочности при сжатии. Ударная прочность износостойких бетонов колеблется от 0,08 до 0,17 МПа.

Сопротивление бетона истиранию возрастает с понижением В/Ц, увеличением расхода цемента, твердости и количества крупных фракций заполнителя, а также с повышением влажности. Марки бетона по износостойкости устанавливаются в зависимости от скорости движения потока воды, величины среднегодового стока через водопропускную конструкцию и среднего диаметра насосов.

Кавитационная стойкость бетона. При пропуске воды через водопропускные сооружения с достаточно большими скоростями наблюдается кавитационная эрозия, т.е. разрушение материала (бетона) элементов сооружений – поверхностей водослива, гасителей энергии и плит водобоя, быков водосливных плотин, входных и выходных оголовков отверстий напорных водоводов, участков водоводов за глубинными затворами и др.

Как показывают исследования, результаты которых приведены на рисунке 6.2, кавитационная стойкость бетона зависит от его прочности.



а – при сжатии; б – при растяжении;
1, 1' – данные МИСИ; 2, 2' – данные НИС Гидропроекта

Рисунок 6.2 – Зависимости интенсивности кавитационного разрушения бетона от его предела прочности

Существенное увеличение кавитационной стойкости достигается применением полимербетонов.

Стойкость бетона к агрессивной среде характеризует его сопротив-

ляемость разрушению от действия подземных или иных вод, содержащих различные агрессивные включения. Агрессивность воды устанавливается в соответствии со специальными инструкциями. В зависимости от рода агрессивности выбирают соответствующий вид цемента, стойкий против этого воздействия, а также проводят другие мероприятия для повышения сопротивляемости воздействию агрессивной среды (повышают водонепроницаемость, плотность и др.) или в случае необходимости применяют гидроизоляцию конструкции.

Требование пониженного тепловыделения при твердении бетона для снижения перепадов температур и вследствие этого облегчения борьбы с трещинообразованием является существенным требованием к бетону гидротехнических сооружений в массивных конструкциях. Это требование обеспечивают применением соответствующего вида цемента с пониженной теплотой гидратации, тщательным подбором состава бетона с минимально необходимым расходом цемента при применении различных добавок, снижающих расход цемента. По этому показателю особенно ценным и являются укатанные бетоны с расходом цемента – 60-120кг/м³.

Проектный возраст, в котором должны быть обеспечены технические требования, указывают в документации на конструкцию. Он назначается в соответствии с нормами проектирования в зависимости от условий, требований к бетону, способов возведения и сроков фактического нагружения конструкций. Если проектный возраст не указан, технические требования к бетону должны быть обеспечены в 28 суток.

Контрольные вопросы

- 1. Что представляет собой гидротехнический бетон, его классификация.*
- 2. Назовите особенности и основные свойства бетонной смеси.*
- 3. Приведите основные положения технологии гидротехнического бетона.*
- 4. Как распределяется бетон тела плотины по зонам?*
- 5. Приведите проектные требования к гидротехническому бетону.*
- 6. В чём заключаются требования по механическому износу бетона?*
- 7. В чём проявляется кавитационная стойкость гидротехнического бетона?*
- 8. Стойкость к агрессивной среде.*
- 9. Перечислите достоинства и недостатки гидротехнического бетона.*

ЛЕКЦИЯ 7. КОНСТРУКЦИОННЫЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Вопросы:

- 7.1. Определение и классификация железобетонных конструкций.
- 7.2. Свойства бетона, арматуры и железобетона, основы технологии сборных железобетонных изделий
- 7.3. Монолитный и сборно-монолитный железобетон – основы технологии, применение в водохозяйственном строительстве
- 7.4. Предварительно напряженный железобетон.

7.1. Определение и классификация железобетонных конструкций

Железобетон – это композиционный строительный материал, в котором успешно сочетается совместная работа бетона и стали, крайне различных по своим механическим свойствам материалов. Бетон, как и всякий каменный материал, хорошо работает на сжатие, но он хрупок и слабо противодействует растягивающим напряжениям.

Как известно прочность бетона при растяжении примерно в 10...15 раз меньше прочности при сжатии. В результате этого бетон нецелесообразно использовать в конструкциях, подверженным растягивающим напряжениям. Сталь же, обладая очень высоким пределом прочности при растяжении, способна воспринимать растягивающие напряжения, возникающие в железобетонном элементе.

Строительные элементы, подвергающиеся изгибу, целесообразно изготавливать из железобетона. При работе таких элементов возникают напряжения двух видов: растягивающие и сжимающие. При этом сталь воспринимает растягивающие напряжения, а бетон – сжимающие и железобетонный элемент в целом успешно противостоит изгибающим нагрузкам. Таким образом, в железобетоне обеспечивается сочетание работы бетона и стали в одном материале.

Возможность совместной работы в железобетоне двух резко различных по своим свойствам материалов определяется следующими важнейшими факторами:

- прочным сцеплением бетона со стальной арматурой, вследствие этого при возникновении напряжения в железобетонной конструкции оба материала работают совместно;
- практически одинаковым коэффициентом температурного расширения стали и бетона, чем обеспечивается полная монолитность железобетона.
- консервации бетоном заключенной в нем стали от коррозии.

Виды железобетона различают по нескольким признакам.

По технологии изготовления:

- монолитный, создается на месте ведения строительных работ;
- сборный производится в цеху, не на месте строительства, после достижения готовности, транспортируется к месту сборки;

– сборно-монолитный, как правило, несущее основание конструкции заливается на месте, а его верхняя часть собирается из элементов, заранее изготовленных промышленным способом.

По способу армирования:

- обычный.
- предварительно напряженный.

Являясь уникальным строительным материалом, железобетон обладает рядом достоинств и недостатков.

Достоинства:

- прочность и износостойкость;
- самоуплотняемость, со временем становится прочнее;
- стойкость к нагрузкам;
- долговечность;
- пожаростойкость;
- химическая нейтральность;
- технологичность (изделия любой формы, цвета и др.);
- сравнительно небольшая стоимость.

Недостатки:

- по сравнению с чистым металлом ниже прочность;
- длительность производства изделий и элементов;
- значительный вес, даже использование легких бетонов не позволяет существенно снизить вес изделий;
- появления трещин после усадки, которые влияют на свойства и долговечность изделия;
- низкий уровень тепло- и звукоизоляции;
- плохая воздухопроницаемость, требуется система вентиляции, при длительном пребывании в здании людей.

Классификация железобетонных конструкций. В основу классификации сборных железобетонных изделий положены следующие признаки: плотность, вид бетона, внутреннее строение, назначение и способ возведения.

По плотности изделия бывают из тяжелых бетонов, облегченного, легкого и из особо легких (теплоизоляционных) бетонов. Для элементов каркаса зданий применяют тяжелый бетон, а для ограждающих конструкций зданий – легкий.

По виду бетонов и применяемых в бетоне вяжущих различают изделия: из цементных бетонов – тяжелых на обычных плотных заполнителях и легких бетонов на пористых заполнителях: силикатных бетонов автоклавного твердения – плотных (тяжелых) или легких на пористых заполнителях на основе извести или смешанном вяжущем; ячеистых бетонов – на цементе, извести или смешанном вяжущем; специальных бетонов – жаростойких, химически стойких, декоративных, гидратных.

По внутреннему строению изделия могут быть сплошными и пустотелыми, изготовленными из бетона одного вида, однослойные или двухслойные и многослойные, изготовленные из разных видов бетона или с применением различных материалов, например теплоизоляционных.

Типоразмерные изделия. Железобетонные изделия одного вида могут отличаться также типоразмерами, например стеновой блок угловой, подоконный и т. д. Изделия одного типоразмера могут подразделяться также по классам. В основу деления на классы положено различное армирование, наличие монтажных отверстий или различие в закладных деталях.

В зависимости от назначения сборные железобетонные изделия делят на основные группы: для жилых, общественных, промышленных зданий, для сооружений сельскохозяйственного и гидротехнического строительства, а также изделий общего назначения.

Железобетонные изделия должны отвечать требованиям действующих государственных стандартов, а также требованиям рабочих чертежей и технических условий на них. Изделия массового производства должны быть типовыми и унифицированными для возможности применения их в зданиях и сооружениях различного назначения. Изделия должны иметь максимальную степень заводской готовности. Составные или комплексные изделия поставляют потребителю, как правило, в законченном, собранном и полностью укомплектованном деталями виде. Железобетонные изделия с проемами поставляют со вставленными оконными или дверными блоками, проолифенными или загрунтованными. Качество поверхности изделия должно быть таким, чтобы на месте строительства (если это не предусмотрено проектом) не требовалось дополнительной их отделки.

По способу возведения все железобетонные конструкции зданий и сооружений подразделяются на: сборные, монолитные и сборно-монолитные.

7.2. Свойства бетона, арматуры и железобетона, основы технологии сборных железобетонных изделий

Как уже отмечалось, совместная работа бетона и стальной арматуры в железобетоне как едином материале обусловлена близостью их коэффициентов линейного термического расширения при температурах до 100°C и высоким уровнем защищенности стальной арматуры от коррозии в среде плотного цементного бетона, а также тремя определяющими факторами:

1. Склеиванием (адгезией) поверхности арматуры и бетона.
2. Силами трения, возникающими на поверхности арматуры при обжатии стержней бетоном в процессе усадки.
3. Сопротивлением выступов на поверхности арматурного стержня упирающихся в бетонные консоли между данными выступами (рисунок 7.1).

При этом на долю последнего фактора приходится примерно 75% усилия сцепления бетона с арматурой, поэтому остальными факторами пренебрегают, кроме того, сами эти факторы имеют сильный разброс и сильно зависят от технологии возведения (например, температуры бетона и арматуры, водоцементного отношения и т.д.).

Длина анкеровки – необходимая длина заделки арматурного стержня в бетон, при которой усилие сцепления стержня с бетоном будет не менее предельного сопротивления стержня по материалу (по пределу текучести).

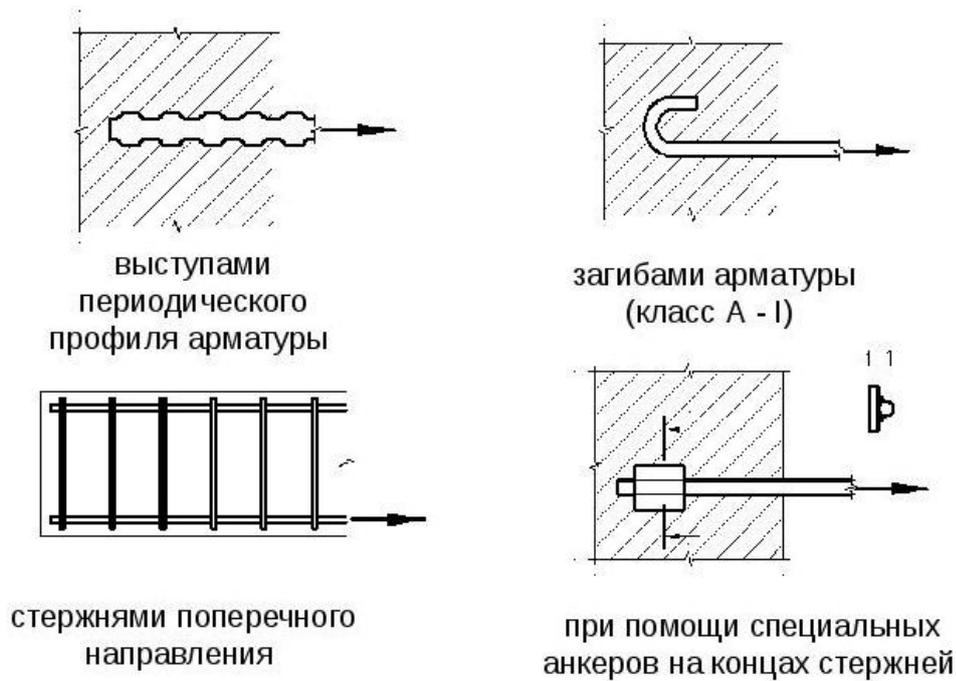


Рисунок 7.1 – Анкеровка арматуры в бетоне

Длина анкеровки зависит от следующих факторов:

1. Класс бетона. Чем более прочным является бетон, тем сильнее сопротивляется перемещению заключенной в нем арматуры.

2. Класс арматуры. Чем выше класс стали арматурного стержня, тем большее усилие способен обеспечить данный стержень по материалу (по пределу текучести), что приводит к необходимости большей заделки арматурного стержня в бетон.

3. Диаметр арматуры. Чем выше класс стали арматурного стержня, тем большее усилие способен обеспечить данный стержень по материалу (по пределу текучести), что приводит к необходимости большей заделки арматурного стержня в бетон.

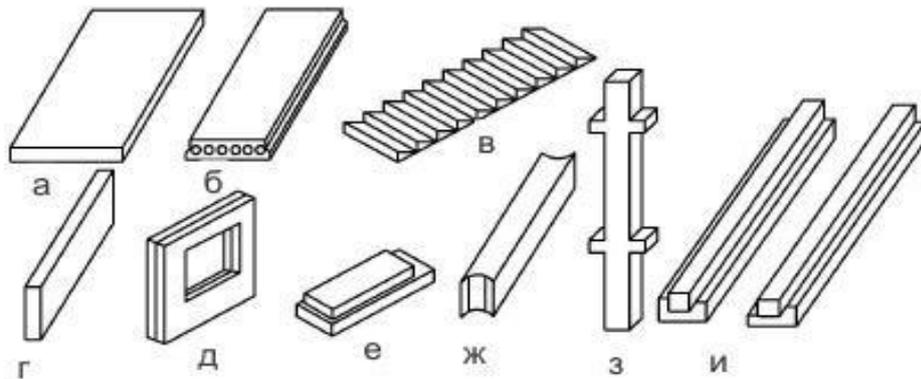
4. Профиль поверхности арматурных стержней. При наличии периодического профиля арматуры, бетон лучше сопротивляется перемещению арматурного стержня, так как для такого перемещения необходим срез консольных участков бетона в зонах между выступами на теле арматурного стержня.

5. Напряженное состояние бетона в направлении, перпендикулярном оси арматурного стержня. Данное напряженное состояние может возникать, например, на опорах изгибаемых элементах, где конец элемента обжимается опорной реакцией (точнее главными сжимающими напряжениями). Некоторое обжатие бетона повышает сцепление бетона с арматурой, т.к. возрастает усилие трения арматуры по бетону, кроме того для арматуры периодического профиля увеличивается несущая способность бетонных консолей между арматурными выступами.

6. Напряженное состояние бетона и арматуры. При вдавливании арматуры в бетон происходит расширение арматурного стержня, которому препятствует окружающий бетон, вследствие этого фактора при вдавливании

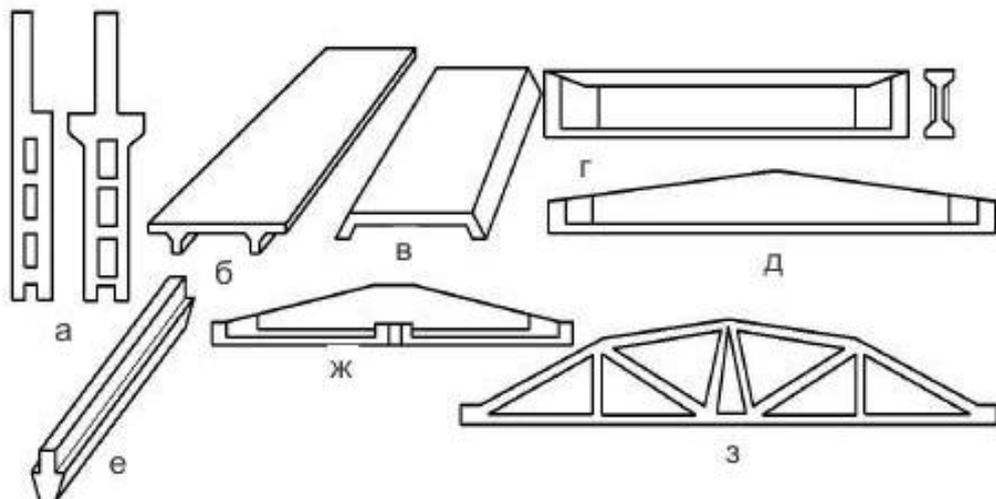
арматуры в бетон сцепление выше, чем при выдергивании. Таким образом, при вдавливании арматурного стержня в бетон необходимая длина заделки будем меньше, чем при выдергивании.

Сборные конструкции. Возведение здания осуществляется путем соединения на монтаже отдельных железобетонных элементов, изготовленных в заводских условиях. Номенклатура сборных железобетонных изделий включает более 20 разновидностей как для жилых и общественных зданий (рисунок 7.2), так и для промышленного строительства (рисунок 7.3).



а – панель перекрытия без пустот; б – то же с круглыми пустотами; в – лестничный марш;
г – прогон; д – стенная панель; е – лестничная площадка; ж – ригель;
з – балка; и – колонна

Рисунок 7.2 – Сборные железобетонные изделия для жилых и общественных зданий



а – колонны; б – панель перекрытия типа «двойное Т»; в – плиты покрытия;
г – подкрановая балка; д – двухскатная стропильная балка; е – ригель;
ж – подстропильная балка; з – ферма

Рисунок 7.3 – Сборные железобетонные изделия для промышленного строительства

Железобетонные изделия, представленные на рисунке 7.3, находят широкое применение в водохозяйственном строительстве при возведении машинных залов ГЭС, зданий насосных станций, головных водозаборов, башен управления затворами и др.

Условные обозначения основных сборных железобетонных изделий:

- балки – Б (подкрановые – БК, стропильные – БС, обвязочные – БО);
- колонны – К;
- лестничные ступени – ЛМ, площадки – ЛП;
- опорные подушки – ОП;
- перемычки – ПР;
- ригели – Р;
- сваи – С;
- трубы безнапорные – ТФ, напорные – БТ.
- фермы стропильные – ФС, подстропильные – ФП;
- фундаментные блоки – ФБС;
- шпалы – Ш.

Преимущества сборных железобетонных конструкций:

1. Возможность использования высокопрочного бетона, что позволяет уменьшить требуемое сечение элементов. Применение высокопрочного бетона в условиях строительной площадки затруднительно или невозможно из-за трудности укладки такого бетона в опалубку.

2. Возможность выполнения предварительного напряжения арматуры, что позволяет использовать арматуру более высокой прочности, т.е. более экономично расходуется арматура.

3. Возможность выполнения температурно-влажностной обработки. Температурно-влажностная обработка позволяет обеспечить более быстрый набор прочности по сравнению с нормальными условиями твердения (например, прочность достаточная для монтажа – 70% от проектной может быть достигнута в течении 24 часов).

4. Возможность выполнения сборных конструкций сложной формы, с пустотами, ребрами и т.д. Изготовление конструкций данной формы позволяет существенно снизить их массу по сравнению со сплошными конструкциями.

5. Меньшая стоимость изготовления, связанная с большей технологичностью процесса изготовления – наличие инвентарной опалубки с большим числом циклов оборачиваемости, наличие более совершенных грузоподъемных механизмов, механизмов для подачи бетона и т.д.

Недостатки сборных железобетонных конструкций:

1. Необходимость использования при монтаже грузоподъемных механизмов большой грузоподъемности.

2. Наличие большого числа стыков, требующих замоноличивания в условиях строительной площадки. В условиях строительной площадки затруднительно выполнение качественных стыков, особенно из высокопрочных бетонов.

3. Наличие большого числа сварных соединений арматуры и закладных

деталей. В условиях строительной площадки затруднительно выполнение качественного сварного соединения арматуры, особенно для малых (меньше 8мм) и больших (более 28мм) диаметров.

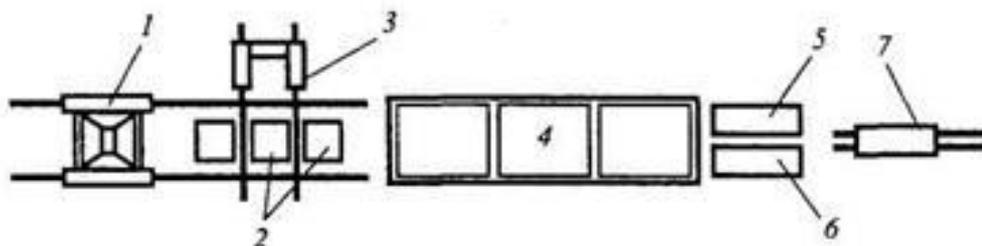
Производство сборных железобетонных изделий складывается из: приготовления бетонной смеси; изготовления арматурных элементов; формования изделий; твердения бетона; освобождения изделий из форм, их отделки, сборки и комплектования строительных деталей для повышения их заводской готовности.

Процесс формования включает операции подготовки форм, армирования, укладки и уплотнения бетонной смеси. В зависимости от принятой технологии для уплотнения и формования изделий применяют вибрирование, прессование, ударно-импульсное уплотнение, центрифугирование, вакуумирование и их различные комбинации. Наиболее распространено виброформирование изделий и конструкции.

Технологические процессы изготовления сборных железобетонных изделий осуществляются на поточных линиях в перемещаемых или неподвижных формах. В первом случае формы при изготовлении изделий перемещаются от одного специализированного технологического поста (например, укладки и уплотнения бетонной смеси, натяжения арматуры и др.) к другому, а во втором случае формы в течение всего производственного процесса неподвижны, перемещается необходимое технологическое оборудование.

Изготовление железобетонных изделий в перемещаемых формах осуществляется на поточно-агрегатных, полуконвейерных и конвейерных технологических линиях.

Поточно-агрегатный способ изготовления конструкций характеризуется расчленением технологического процесса на отдельные операции или их группы, выполнением нескольких разнотипных операций на универсальных агрегатах, наличием свободного ритма в потоке, перемещением изделия от поста к посту (рисунок 7.4).



- 1 – бетоноукладчик; 2 – секционная виброплощадка; 3 – тележка-формоукладчик;
4 – камера твердения; 5 – пост распалубки; 6 – место подготовки форм;
7 – тележка вывоза готовой продукции

Рисунок 7.4 – Схема поточно-агрегатного способа изготовления железобетонных конструкций

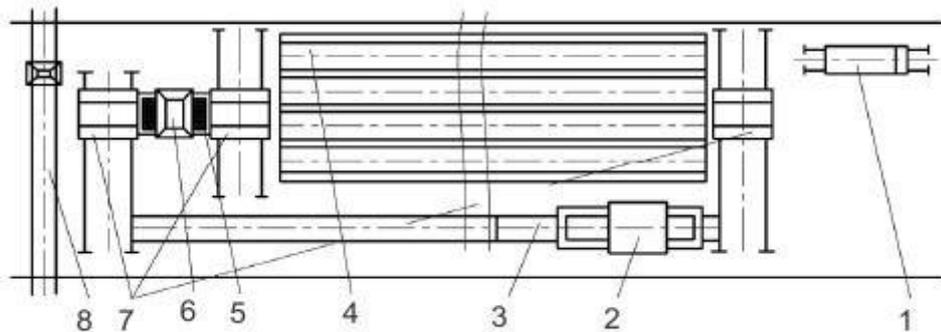
Формы и изделия переходят от поста к посту с произвольным интервалом, зависящим от длительности операции на данном рабочем месте, которая может колебаться от нескольких минут (например, смазка форм) до несколь-

ких часов (пост твердения отформованных изделий). Способ отличается также тем, что формы и изделия останавливаются не на всех постах поточной линии, а лишь на тех, которые необходимы для данного случая. Агрегатно-поточный способ организации производства характеризуется возможностью закрепления за одной поточной линией изделий, различных не только по своим типоразмерам, но и по конструкции. Эта возможность обеспечивается наличием на поточной линии универсального оборудования.

Конвейерный способ производства отличается от поточно-агрегатного делением технологического процесса на отдельные операции с определенным ритмом, т.е. одинаковой продолжительностью выполнения операций. Различают конвейеры шагового (тележечного) и непрерывного действия (пластинчатые, цепные и др.).

К современным типам тележечных конвейеров по производству железобетонных изделий относятся вертикальные двухъярусные станы, на верхней ветви которых выполняются все операции по изготовлению изделий, а на нижней производится тепловая обработка. Наклонно-замкнутые конвейеры, отличающиеся размещением камер тепловой обработки под полом цеха рядом с формовочной ветвью и др.

Непрерывным конвейером является вибропрокатный стан, имеющий бесконечную стальную ленту, оснащенную устройствами для приготовления, формования и тепловой обработки бетонной смеси. Конвейерный способ особенно эффективен при серийном выпуске однотипных изделий: стеновых панелей, панелей перекрытий, колонн и ригелей промышленных зданий, лотков и др. (рисунок 7.5).



- 1 – тележка вывоза готовой продукции; 2 – установка чистки и смазки поддонов;
3 – пост укладки каркасов; 4 – туннельные камеры непрерывного действия; 5 – установка формирования лотков; 6 – бетоноукладчик; 7 – транспортно-передающие устройства; 8 – бетоновозная эстакада

Рисунок 7.5 – Конвейерная линия для производства лотков оросительных систем с немедленной распалубкой

При *стендовом способе* изделия изготавливают в неподвижных формах на специально оборудованных стендах. Стендовая технология особенно целесообразна при изготовлении крупноразмерных и предварительно напря-

женных изделий, ее применяют также и в условиях полигонов, когда тепловая обработка осуществляется в напольных камерах или термоформах. Продолжительность технологического цикла составляет обычно 1-2 суток.

Разновидностью стандового является *кассетный способ* производства, особенностью которого является формование изделий в вертикальном положении в стационарных разъемных групповых формах - кассетах.

Для ускорения твердения изделий в заводских условиях применяют тепловлажностную обработку – пропаривание при нормальном давлении и температуре до 95°C, электропрогрев, контактный прогрев в формах, твердение в бассейнах с горячей водой, обогрев лучистой энергией и др. Режимные параметры тепловлажностной обработки – предварительное выдерживание, температура и скорость, длительность ее подъема, длительность изотермического прогрева и охлаждения зависят от вида и активности цемента, класса и требуемой отпускной прочности бетона, удобоукладываемости бетонной смеси, вида химических добавок, конструктивных параметров изделий и других факторов.

7.3. Монолитный и сборно-монолитный железобетон – основы технологии, применение в водохозяйственном строительстве

Из монолитного железобетона возводятся здания и сооружения самого различного назначения: промышленные и жилые, объекты соцкульты, плотины, энергетические комплексы, телебашни и т.п. Обширной областью применения монолитного железобетона являются инженерные сооружения: градирни, трубы, резервуары, защитные оболочки АЭС и т.п. (рисунок 7.6).



Рисунок 7.6 – Отстойник из монолитного железобетона

Монолитные конструкции. Возведение здания осуществляется путем заполнения жидкой бетонной смесью специальной формы (опалубки) с последующим затвердеванием бетона и набора им прочности.

Преимущества монолитных железобетонных конструкций:

1. Возможность выполнения любых, в том числе нестандартных форм в условиях строительной площадки.
2. Обеспечение единой, практически непрерывной конструкции с минимальной податливостью стыков.
3. Широкие возможности по варьированию прочностных свойств железобетонной конструкции – изменение размеров, изменение класса бетона и арматуры, изменение насыщения сечения арматурой.

Недостатки монолитных железобетонных конструкций:

1. Сложность технологического процесса и его контроля. Необходимо использование опалубки с относительно невысокой оборачиваемостью, необходимость дополнительного прогрева в условиях пониженных температур, расслаивание бетонной смеси при укладке и т.д.
2. Сложность отбраковки конструкций, прочность бетона в которых не достигла проектной. По сравнению с железобетонными конструкциями, прочность которых можно оценить до установки в системе здания, монолитные конструкции к моменту достоверного определения прочности, как правило уже сопряжены с другими элементами, что не позволяет удалить их без повреждения смежных элементов.
3. Большие потери бетона при перевозке
4. Большие потери арматуры при разрезке на изделия в условиях строительной площадки.

Основы технологии монолитного бетонирования. Возведение монолитных бетонных и железобетонных конструкций включает выполнение комплекса взаимосвязанных процессов по устройству опалубки, армированию и бетонированию конструкций, выдерживанию бетона, его распалубливанию и отделке поверхностей готовых конструкций.

По составу работ, выполняемых при возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций, их подразделяют на:

опалубочные, включающие изготовление и установку опалубки, распалубливание и ремонт опалубки;

арматурные, которые состоят в изготовлении и установке арматуры, при напрягаемой арматуре дополнительно в ее натяжении, выполняются при изготовлении монолитных железобетонных конструкций и отсутствуют в бетонных конструкциях;

бетонные, включающие приготовление, транспортирование и укладку бетонной смеси, уход за бетоном в процессе его твердения.

При укладке бетонной смеси используют методы:

с уплотнением (полученная по расчетам толщина слоя бетонной смеси должна соответствовать (но не превышать) установленной нормами глубине проработки применяемых в данных конкретных условиях технических средств уплотнения);

литьем (литая бетонная сверхпластичная смесь с осадкой конуса 14...16 см со специальными добавками, в частности суперпластификаторов, позволяет смеси самоуплотняться без вибрирования);

напорной укладки (торкретирование – технологический процесс нанесения на бетонную или иную поверхность под давлением сжатого воздуха тонких слоев цементно-песчаного раствора или мелкозернистого бетона при помощи специальной установки – цемент-пушки для цементного раствора, бетон-шприц-машины – для бетонной смеси. При этом сухая смесь песка, цемента и крупного заполнителя под действием струи воздуха смешивается с водой и набрасывается на поверхность обрабатываемой конструкции).

При строительстве элементов гидротехнических сооружений, расположенных под водой, применяют подводное бетонирование (укладку бетонной смеси под водой без производства водоотлива), выполняемое одним из двух способов – вертикально перемещающейся трубы (ВПТ) и восходящего раствора (ВР). Общее для обоих способов – устройство по периметру бетонированной конструкции шпунтового ограждения, благодаря чему ограничивается подток воды к месту производства работ, а возводимое сооружение предохраняется от вымывания цемента и песка.

Технологические приемы укладки бетонной смеси назначают в зависимости от типов конструкций и требований к ним, состава применяемой бетонной смеси, конструктивных особенностей опалубки, способов подачи смеси к местам укладки.

Сборно-монолитные конструкции. Возведение здания осуществляется путем обеспечения совместной работы сборных и монолитных конструкций (рисунок 7.7).

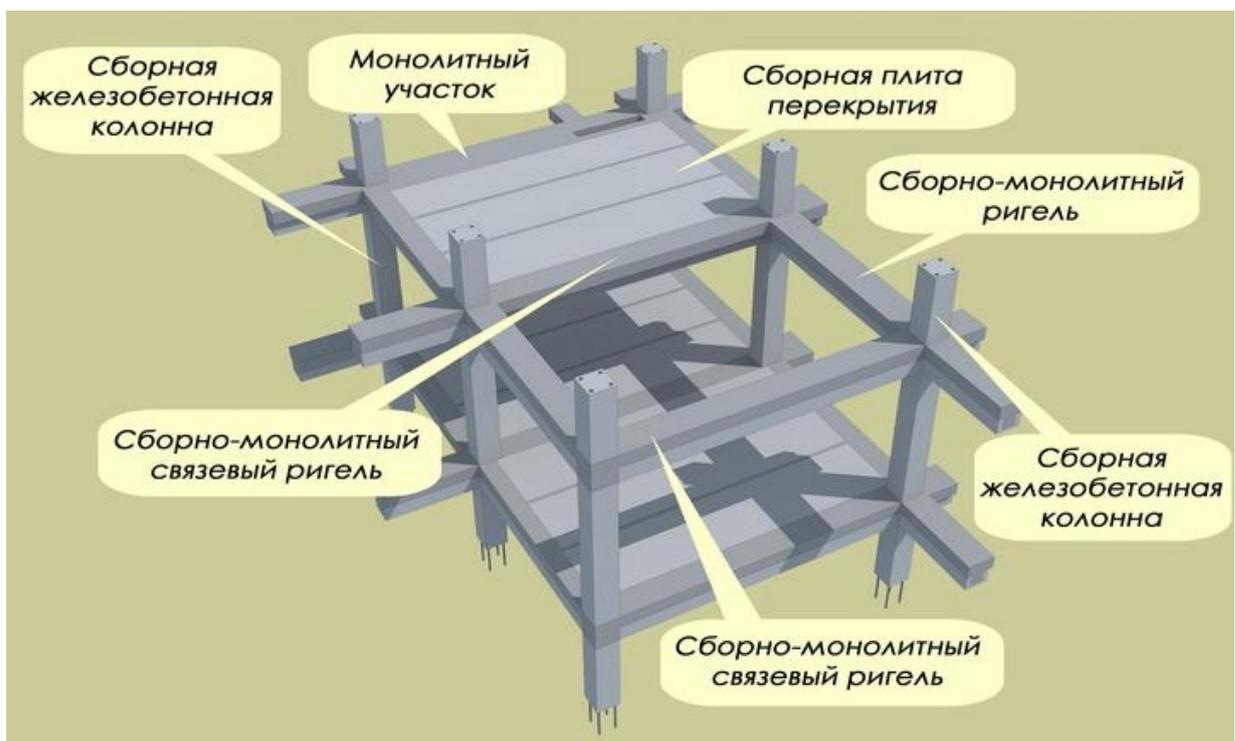


Рисунок 7.7 – Схема сборно-монолитного каркасного здания

Преимущества сборно-монолитных конструкций:

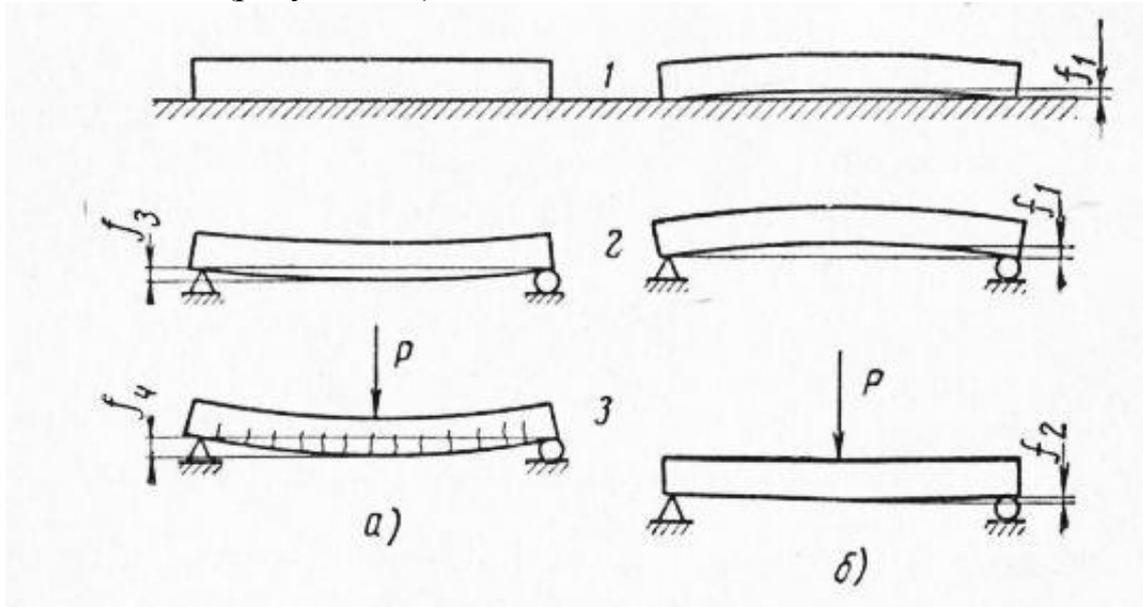
1. Снижение сложности опалубочных работ.
2. Возможность использования сборных частей с предварительным напряжением арматуры.

Недостатки сборно-монолитных конструкций:

1. Сложность контроля зоны сопряжения сборной и монолитной части конструкции. Так как зона сопряжения перекрытия монолитным бетоном с одной стороны и сборным бетоном с другой стороны, то осуществить визуальный контроль данной зоны невозможно.
2. Трудность обеспечения качественного сопряжения сборной и монолитной части в условиях пониженных температур вследствие замерзания свободной воды в зоне контакта.

7.4. Предварительно напряженный железобетон

Основная идея предварительного напряжения железобетонных конструкций заключается в том, что при изготовлении бетон искусственно обжимается. Благодаря этому бетон растягивается только тогда, когда будут преодолены созданные обжатием сжимающие напряжения. Если они превосходят растягивающие напряжения от нагрузки, то можно избежать образования трещин в бетоне (рисунок 7.8).



а – обычной, б – предварительно напряженной;

1 – балки лежат на ровной площадке, 2 – балки установлены на место эксплуатации и воспринимают только собственный вес, 3 – к балкам приложена нагрузка;

P – эксплуатационная нагрузка; $f_1 - f_4$ – величины прогиба балок

Рисунок 7.8 – Схемы работы железобетонных балок

Виды предварительно напряженного железобетона. В отечественной практике различаются два вида предварительного напряжения, которые называются преднапряжением на бетон и преднапряжением на упоры.

Напряжение перед твердением бетона (напряжение на упоры). Этот метод требует особых приспособлений, таких, как, например, натяжной стенд. Натяжным стендом называется установка, которая состоит из двух несдвигаемых упоров и натягающего домкрата (рисунок 7.9).

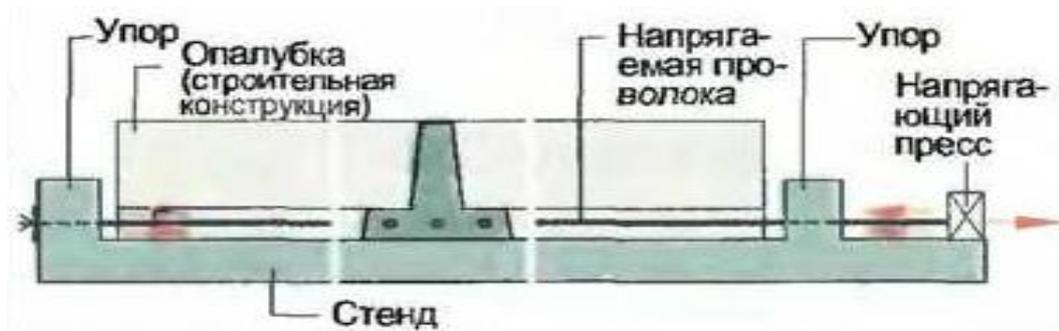


Рисунок 7.9 – Предварительное напряжение на стенде

Натягаемые элементы или натягаемая проволока вместе с ненапрягаемой арматурой устанавливаются в опалубку и натягаются. Они располагаются, как правило, прямолинейно. После этого можно производить бетонирование, причем между бетоном и натягаемым элементом возникает непосредственная связь. Бетон должен соответствовать классу прочности не менее С30/37. После твердения бетона и набора расчетной прочности анкеровка натягаемых элементов освобождается, при этом натягающее усилие передается бетону. Этот метод применяется на бетонных заводах для серийного производства балок. Он называется также напряжением на стенде с немедленной связью.

Напряжение после твердения бетона с последующей связью (напряжение на бетон).

Этот метод применяется, как правило, для изготовления предварительно напряженных конструкций на строительной площадке. Натягающие элементы прокладываются в специальных трубах, служащих каналами скольжения (рисунок 7.10).



Рисунок 7.10 – Предварительное напряжение с последующей связью (на бетон)

После этого можно бетонировать, причем бетон должен соответство-

вать классу прочности не менее С25/30. Способ работы при установке напрягающих элементов зависит от условий на стройплощадке и от положения напрягающего элемента. Более короткие напрягающие элементы могут устанавливаться вместе с ненапрягаемой арматурой, а длинные напрягающие элементы устанавливаются после установки ненапрягаемой арматуры.

Кроме того, имеется возможность напрягаемую арматуру заводить в забетонированные каналы после твердения бетона. При этом говорят о подключении напрягаемой арматуры. Когда бетон достигнет определенной прочности, напрягающие элементы с помощью гидравлических прессов натягиваются и затем закрепляются. После напряжения и закрепления на бетоне кожуховая труба канала запрессовывается раствором. При этом возникает связь между бетоном и напрягающим элементом.

Существует несколько методов создания предварительного напряжения в арматуре: механический, электротермический, электротермомеханический, физико-химический.

Механический – необходимое относительное удлинение арматуры получают вытяжкой арматуры натяжными механизмами (гидравлические и винтовые домкраты, лебедки, намоточные машины и т.д.).

Электротермический – арматуру разогревают электрическим током до 300-350°C, заводят в форму и закрепляют на упорах. При восстановлении начальной длины в процессе остывания арматура натягивается на упоры.

Электротермомеханический – совокупность механического и электротермического методов, полностью исключает обрыв арматуры, т.к. усилие механического натяжения не более 20-30% от общего усилия натяжения.

Физико-химический – заключается в самоупреждении конструкции вследствие использования свойств бетонов, изготовленных на расширяющемся цементе. При расширении бетона в процессе твердения арматура удлиняется, и, таким образом, создается предварительное напряжение.

Контрольные вопросы

1. *Что представляет собой железобетон и в чем его особенности?*
2. *Перечислите виды железобетона.*
3. *Назовите достоинства и недостатки железобетона.*
4. *Приведите классификацию железобетонных изделий.*
5. *Перечислите достоинства и недостатки железобетона.*
6. *Чем обусловлена соевестная работа бетона и арматуры?*
7. *Отчего зависит длина анкеровки арматуры в бетоне?*
8. *Достоинства и недостатки сборных железобетонных конструкций.*
9. *Способы производства железобетонных изделий в заводских условиях.*
10. *Достоинства и недостатки монолитного железобетона.*
11. *Назовите особенности технологии монолитного бетонирования.*
12. *Достоинства и недостатки сборно-монолитных конструкций.*
13. *Предварительно напряженный железобетон – особенности.*
14. *Приведите методы предварительного напряжения железобетона.*
15. *Методы создания предварительного напряжения в арматуре.*

ЛЕКЦИЯ 8. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ. ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Вопросы:

- 8.1 Строительные растворы, определение и классификация.
- 8.2. Факторы, влияющие на свойства строительных растворов.
- 8.3. Приготовление и транспортирование растворов. Виды растворов.
- 8.4. Силикатные материалы и изделия автоклавного твердения.
- 8.5. Асбестоцементные изделия.

8.1. Строительные растворы, определение и классификация

Строительный раствор – это искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания растворной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, мелкого заполнителя и добавок, улучшающих свойства смеси и растворов. Крупный заполнитель отсутствует, так как раствор применяют в виде тонких слоев (шов каменной кладки, штукатурка и т.п.), укладываемых обычно на пористое основание. Одним из главных свойств растворов является хорошее сцепление с основанием.

Для изготовления строительных растворов чаще используют неорганические вяжущие вещества (цементы, воздушную известь, строительный гипс).

Классифицируют строительные растворы в зависимости от вида вяжущего вещества, величины плотности и назначения (рисунок 8.1).



Рисунок 8.1 – Классификация строительных растворов

По *виду вяжущего* различают строительные растворы цементные, приготовляемые с применением портландцемента и его разновидностей; известковые – на основе извести воздушной или гидравлической; гипсовые – с применением в них строительного или высокопрочного гипса; смешанные, получаемые на основе двух или нескольких вяжущих (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые и др.).

По *плотности различают*: тяжелые растворы плотностью более 1500 кг/м³, изготовляемые обычно на кварцевом песке; легкие растворы плотностью менее 1500 кг/м³, изготовляемые на пористом мелком заполнителе и с порообразующими добавками.

По *назначению* различают: кладочные – для каменной кладки стен, фундаментов, столбов и др., штукатурные – для оштукатуривания внутренних стен, потолков, фасадов зданий; монтажные – для заполнения швов между крупными элементами (панелями, блоками и т.п.) при монтаже зданий из сборных конструкций и деталей; специальные растворы (декоративные, гидроизоляционные, тампонажные и др.).

Вяжущие вещества. Применяют портландцемент и шлакопортландцемент. Марку цемента принимают в 3-4 раза выше марки раствора. Воздушную известь в виде известкового теста вводят в смеситель при изготовлении растворной смеси, реже используют молотую негашеную известь. Строительный гипс входит в состав гипсовых и известково-гипсовых растворов.

Пески применяют природные – кварцевые, полевошпатовые, а также искусственные – дробленые из плотных горных пород и пористых пород; из искусственных материалов (пемзовые, керамзитовые, перлитовые и т.п.). Пористые пески служат для приготовления легких растворов. Если песок содержит крупные включения (комья глины и др.), то его просеивают. Для кирпичной кладки применяют растворы на песках с зернами не более 2 мм. Для растворов марки М100 и выше пески должны удовлетворять тем же требованиям по содержанию вредных примесей, что и пески для бетона. Для растворов марки М50 и ниже допускается содержание в песке пылевато-глинистых примесей до 10, реже - до 15-20% по массе.

Пластифицирующие добавки. Чаще всего растворные смеси укладывают тонким слоем на пористое основание, способное отсасывать воду (кирпич, бетоны легкие, ячеистые и т.п.). Чтобы сохранить удобоукладываемость растворных смесей, в них вводят неорганические и органические пластифицирующие добавки, повышающие способность смеси удерживать воду.

Неорганические дисперсные добавки состоят из мелких частиц, хорошо удерживающих воду (известь, глина, зола ТЭС, диатомит, молотый доменный шлак и т.п.). Глина, используемая в качестве пластифицирующей добавки, не должна содержать органических примесей и легкорастворимых солей, вызывающих появление «выцветов» на фасадах зданий. Глину вводят в растворную смесь в виде жидкого теста.

Органические поверхностно активные пластифицирующие и воздухововлекающие добавки: омыленный древесный пек, канифольное мыло, мылонафт и другие вводят в количестве 0,1-0,3% от массы вяжущего. Они не

только улучшают удобоукладываемость растворных смесей, но также повышают морозостойкость, снижают водопоглощение и усадку раствора.

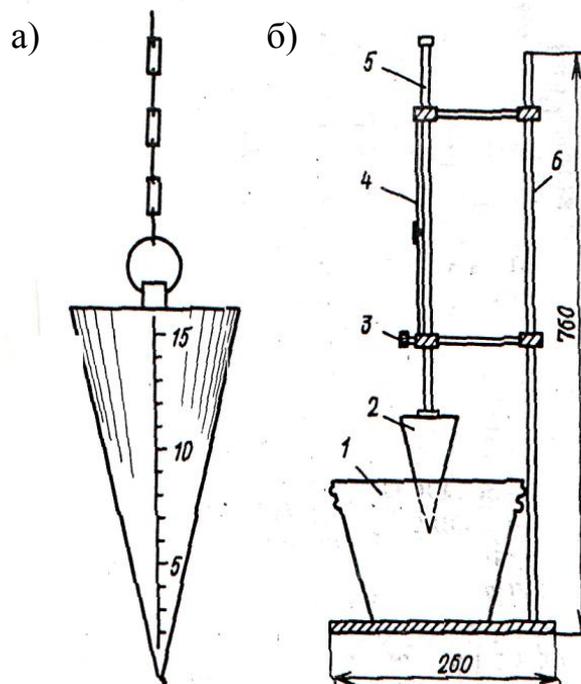
В растворы, применяемые для зимней кладки и штукатурки, добавляют ускорители твердения, понижающие температуру замерзания растворных смесей: хлористый кальций, поташ, хлористый натрий, хлорную известь и др. Органические пластификаторы эффективны лишь для растворов с относительно большим расходом цемента (марок 100 и выше). Передозировка их может привести к замедлению твердения раствора и снижению прочности.

8.2. Факторы, влияющие на свойства строительных растворов

Растворная смесь должна обладать следующими свойствами: хорошей удобоукладываемостью и высокой водоудерживающей способностью, чтобы легко распределяться по пористому основанию и не давать ему отсасывать в себя воду. Вода необходима для твердения раствора.

Удобоукладываемость – способность растворной смеси легко распределяться по поверхности сплошным тонким слоем, хорошо сцепляться с поверхностью основания. Смесь не должна расслаиваться при хранении, перевозке и перекачивании растворонасосами и даже при укладке на неровной поверхности заполнять все впадины и плотно примыкает к камням кладки.

Удобоукладываемость растворной смеси оценивают по глубине погружения в нее эталонного конуса (рисунок 8.2) массой 300 г, высотой 150 мм и углом в вершине 30° . Конус сделан из жести, внутри него помещен груз (свинцовая дробь).



1-сосуд; 2-конус; 3-стопорный винт; 4-шкала; 5-стержень; 6-штатив

Рисунок 8.2 – Конус для определения подвижности растворной смеси в построчных условиях (а) и в лаборатории (б)

В условиях строительной площадки используют конус с делениями, нанесенными на его поверхность, и с цепочкой (или шнуром), прикрепленной к центру основания (рисунок 8.2,а). Растворную смесь, подвижность которой надо определить, помещают в металлическую емкость (например, ведро) и в нее погружают конус. В лабораториях используют специальный прибор, основным элементом которого является тот же конус (рис.8.2,б).

В соответствии с ГОСТ 28013-98 в зависимости от подвижности по погружению конуса (см) растворные смеси подразделяют: П1 – 1-4; П2 – 4-8; П3 – 8-12; П4 – 12-14.

В зависимости от назначения кладки применяют растворы различной подвижности: бутовая обыкновенная 4-6; заполнение швов в панельных и блочных зданиях 5-7; из пустотелого кирпича и керамических камней 7-8; из обыкновенного керамического кирпича 9-13; штукатурные растворы 7-12.

Один из способов повышения подвижности растворной смеси – увеличение содержания в ней воды, но при этом, чтобы сохранить прочность раствора и водоудерживающую способность смеси, увеличивают расход вяжущего. Более рациональный способ повышения подвижности – введение в раствор пластифицирующих добавок.

Водоудерживающая способность – это способность растворной смеси удерживать воду при нанесении на пористое основание или при транспортировании. Если растворную смесь с малой водоудерживающей способностью нанести, например, на кирпич, то она быстро обезводится в результате отсывания воды в поры кирпича. В этом случае затвердевший раствор будет пористым и непрочным. При транспортировании растворные смеси с низкой водоудерживающей способностью могут расслоиться: песок осядет вниз, а вода окажется сверху. Чем ниже водоудерживающая способность, тем вероятнее расслоение растворной смеси.

Водоудерживающая способность зависит от количества вяжущего вещества в растворе, так как тончайший порошок вяжущего образует с водой вязкое тесто, препятствуя отделению воды и заполнителя. Повысить водоудерживающую способность без увеличения расхода цемента можно введением в растворную смесь тонкодисперсных минеральных порошков, в том числе и более дешевых вяжущих веществ (извести, глины) или загущающих (водоудерживающих) водорастворимых полимерных добавок, таких, как метилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза и т.п. Смесь с этими добавками отдает воду пористому основанию постепенно, при этом она становится плотнее, хорошо сцепляется с кирпичом, отчего кладка становится прочнее.

Затвердевший раствор должен иметь требуемую прочность и морозостойкость.

Прочность строительных растворов характеризуется маркой, определяемой по пределу прочности при сжатии образцов – кубов размером 70,7x70,7x70,7мм. Образцы, изготовленные из рабочей растворной смеси, твердеют на воздухе в течении 28 сут. при температуре $(20\pm 5)^\circ\text{C}$. Чтобы приблизить условие твердения образцов к реальным условиям твердения кла-

дочных растворов, используют формы без дна и устанавливают их на пористое основание (кирпич).

По прочности на сжатие строительные растворы делят на марки: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200. Растворы марок М4–М25 изготавливают на известии, местных вяжущих; более высоких марок – на смешанном цементно-известковом, цементно-глиняном и цементном вяжущих.

Марки наиболее часто применяемых кладочных и штукатурных растворов значительно ниже марок бетона. Это объясняется тем, что прочность кладочных растворов существенно не влияет на прочность кладки камней правильной формы, а штукатурные растворы практически не несут никакой нагрузки. Более высокие требования предъявляются к прочности растворов для омоноличивания несущих сборных конструкций.

Прочность смешанных растворов зависит от количества введенной в раствор извести или глины. Оптимальная добавка известкового или глиняного теста, позволяющая получить удобоукладываемые растворные смеси и плотные растворы, соответствует максимуму на кривых прочности, приведенных на рисунке 8.3. для растворных смесей разного состава – от «жирных» состава 1:3 до «тощих» состава 1:2:9; состав указан в объемных частях – цемент: тесто (известковое, глиняное): песок.

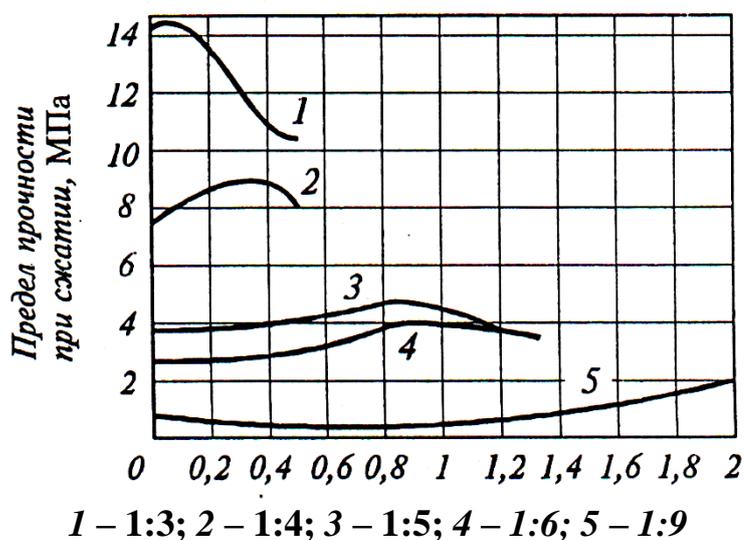


Рисунок 8.3 – Общий характер влияния дисперсных добавок (известки, глины) на прочность растворов состава (цемент: песок по объему)

Морозостойкость раствора характеризуется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают насыщенные водой стандартные образцы - кубики размером 7,07x7,07x7,07 см (допускается снижение прочности образцов не более 25% и потеря массы не выше 5%).

Строительные растворы для каменной кладки наружных стен и наружной штукатурки имеют марки по морозостойкости F10, F15, F25, F35, F50, причем марка повышается для влажных условий эксплуатации. В таких условиях растворы удовлетворяют и более высоким требованиям по морозостой-

кости: F100, F150, F200 и F300. Морозостойкость растворов зависит от вида вяжущего вещества, водоцементного отношения, введенных добавок и условий твердения.

8.3. Приготовление и транспортирование растворов. Виды растворов

Приготовление растворов. Растворы готовят в виде готовых к применению смесей или в виде сухих смесей, затворяемых водой перед использованием. Процесс приготовления растворной смеси состоит из дозирования исходных материалов, загрузки их в барабан растворосмесителя и перемешивания до получения однородной массы в стационарных или передвижных растворомешалках разной емкости.

Чтобы раствор обладал требуемыми свойствами, необходимо добиться однородности его состава. Для этого ограничивают минимальное время перемешивания. Средняя продолжительность цикла перемешивания для тяжелых растворов не менее 3 мин. Легкие растворы перемешивают дольше, известь и глину вводят в раствор в виде известкового или глиняного молока.

Зимой для получения растворов с положительной температурой составляющие раствора – песок и воду – подогревают до температуры не более 60°C. Вяжущее подогревать нельзя.

Транспортирование. Растворные смеси с заводов перевозят автосамосвалами или специальными машинами, в которых смесь постоянно помешивается, что предохраняет ее от расслоения. Если используют автосамосвалы во избежание расслоения смеси нормируется дальность ее перевозок (например, дальность перевозок цементно-известковых растворов по асфальтовой дороге – не более 10 км). На крупных стройках растворную смесь подают к месту использования по трубам с помощью растворонасосов.

Сроки хранения растворных смесей зависят от вида вяжущего и ограничиваются сроками его схватывания. Известковые растворы сохраняют свои свойства долго (пока из них не испарится вода). В высохший известковый раствор можно добавить воду и вторично перемешать его. Цементные растворы необходимо использовать в течение 2-4 часов, разбавление водой и повторное перемешивание схватившихся цементных растворов не допускается, так как это приводит к резкому падению марки раствора.

Сухие растворные смеси. Главное их назначение – отделочные, а также монтажные работы внутри зданий и снаружи (кладка стен, отделка фасадов, устройство наливных полов). Среди сухих смесей – цементно-известковые, используемые при положительных и небольших отрицательных температурах (с противоморозными добавками) гипсовые сухие штукатурные смеси для реставрации панельных домов, монолитного домостроения и др. Расход гипсовой сухой смеси составляет примерно до 80 м²/т.

Сухие смеси, отечественные «Плитонит», имеют высокую адгезию и большую пластичность, нестекаемость с вертикальных стен, морозостойкость. В них используют цемент марок М-400 и М-500, кварцевый песок с

фракциями до 0,6 мм и повышенной однородностью и стабильностью состава, органические добавки Waken и Dow. Из зарубежных шпаклевочных смесей используют французские (фирмы «Семин»), финские (фирмы «Лохья»).

Растворы для каменной кладки и монтажа железобетонных элементов. В зависимости от вида конструкции (стена, фундамент и др.) и условий, в которых эта конструкция будет работать в соответствии со СНиПом, устанавливаются основные требования к растворам (марка, водостойкость, морозостойкость).

При монтаже стен горизонтальные швы между панелями из тяжелого бетона заполняют раствором марки не ниже 100, из легкого бетона - не ниже 50. При монтаже стен из крупных блоков марки раствора для заполнения горизонтальных швов указываются в проекте (обычно 10-50).

Для монтажа несущих железобетонных конструкций марка цементного раствора должна быть не ниже класса бетона этой конструкции. При работах в зимних условиях марки растворов должны быть на одну ступень выше, чем растворов, используемых для этих же целей летом. Растворы для зимних работ могут поставляться подогретыми. Температура раствора в момент его применения должна быть не менее 10°С при температуре наружного воздуха до -10°С и не менее 20°С при температуре воздуха -20°С.

В зимних условиях применяются растворы, твердеющие при отрицательных температурах, добавляя соли, понижающие температуру замерзания воды (поташ K_2CO_3 , хлорид натрия $NaNO_2$ и др.).

Простые и смешанные растворы для обычных штукатурок. При оштукатуривании наружных каменных и бетонных стен, в том числе подвергающихся увлажнению, применяют цементные и цементно-известковые растворы, для деревянных и гипсовых стен – известковые растворы с добавкой глины или гипсового вяжущего.

При оштукатуривании стен в помещениях с влажностью воздуха во время эксплуатации не более 60% используют следующие растворы:

- известковые и цементно-известковые – для внутренних поверхностей наружных каменных и бетонных стен, а также бетонных покрытий;
- известковые – для поверхностей внутренних каменных или бетонных стен и перегородок;
- известково-гипсовые и гипсовые с добавлением наполнителя – для гипсовых перегородок.

При оштукатуривании помещений, влажность воздуха в которых во время эксплуатации более 60% (ванные комнаты, прачечные, бани и т.п.), для первого слоя штукатурки (обрызга) применяют цементные и цементно-известковые растворы.

Простые глиняные растворы. Их преимущество – низкая стоимость, недостатки – низкие прочность и водостойкость. Они пригодны для оштукатуривания стен малоэтажных зданий в сельской местности, эксплуатируемых при относительной влажности воздуха помещений не выше 60%. В качестве вяжущего материала применяют карьерную глину или глиняный порошок, выпускаемый кирпичными заводами, предварительно глину размачивают.

В качестве заполнителей для придания раствору большей прочности, вязкости и облегчения сушки применяют не песок, а соломенную сечку, опилки, стружку, льняную или конопляную костру. Растворы с такими заполнителями должны проходить без остатка через сито с ячейками 3х3 мм.

Для определения жирности готовят тесто подвижностью, соответствующей погружению эталонного конуса на 13-14 см. Это тесто процеживают через сито, взвешивают и определяют его плотность. По плотности судят о степени жирности глиняного теста. При использовании глиняного порошка его дозируют при тощей глине в таком же количестве, как и тесто; при глине средней жирности его дозировку уменьшают по сравнению с объемом на 15%, а при жирной глине – на 25%.

Смешанные глиняные растворы. Для повышения водостойкости в глиняные растворы добавляют известь, реже цемент или черные вяжущие материалы (битумы, дегти). При этом получают глиноизвестковые, глиноцементные, глинобитумные и другие растворы. Рекомендуются следующие составы растворов в частях по объему: глиноизвестковые – на молотой негашеной извести 1:0,2:(3-5); на гашеной извести и известковом тесте 1:0,3:(3-5); глиноцементные 1:0,15:(4-5); глинобитумные 1:(0,01-0,05):(2,5-4).

Битумные вяжущие материалы для растворов поступают на стройку в жидком или твердом виде. При приготовлении растворов с жидкими вяжущими материалами в смеситель сначала подают воду, а затем глину и битумный вяжущий материал и перемешивают их в течении 30-40 с. После этого загружают заполнитель и перемешивают еще не менее 1 мин. Если применяют твердые битумные материалы, то их сначала нагревают до плавления, а потом смешивают с глиной. Для штукатурных растворов используют хорошо выдержанную полностью погасившуюся известь. Плохо погасившиеся частицы могут вызвать в штукатурном слое отколы («дутики»). Известь лучше вводить в раствор в виде известкового молока.

Известково-гипсовые растворы. Недостаток известковых растворов - их медленное твердение. Ускоряют твердение, добавляя гипсовое вяжущее. Рекомендуются следующие составы, известково-гипсовых растворов (части по объему): для обрызга – 1(0,3-1):(2-3); для грунта – 1:(0,5-1,5):(1,5-2); для накрывки – 1:(1-1,5):0.

Известково-гипсовые растворы без замедлителя схватывания начинают затвердевать через 4-5 мин после затворения водой. Поэтому при большом объеме штукатурных работ в такой раствор вводят замедлители схватывания: мездровый или костный (столярный) клей, квасцы, буру в виде водных растворов.

Раствор для беспесчаной накрывки готовят из смеси извести с гипсовым вяжущим. Известь размешивают в воде, приготовляя известковое молоко. В молоко небольшими порциями добавляют при непрерывном помешивании гипсовое вяжущее. После приготовления их сразу укладывают в дело. Добавлять воду в раствор, чтобы повысить его подвижность, после начала схватывания нельзя, так как это понижает прочность раствора.

Растворы на негашеной порошкообразной извести. Такие растворы

через 5-10 мин. после затворения теряют подвижность и через 20-30 мин. начинают схватываться. Кроме того, спустя 15-20 мин. после затворения температура этих растворов поднимается и может достигать до 100°C. Для улучшения свойств в такие растворы вводят добавки, уменьшающие скорость гашения порошкообразной извести - глину, гипсовое вяжущее, цемент.

Цементные растворы. Растворы на цементах (портландцементе, шлакопортландцементе) стоят дороже, чем растворы на других вяжущих. Поэтому такими растворами оштукатуривают наружные стены и помещения с повышенной влажностью (более 60%), а также конструкции, на которых требуется создать штукатурный слой повышенной прочности. Для штукатурных работ рекомендуются следующие составы цементных растворов (части по объему): для обрызга 1:(2,5-4); для грунта 1:(2-3); для накрывки 1:(1-1,5).

Когда цементный раствор используют для накрывочного слоя, его нужно затирать до начала схватывания цемента.

Пластичность цементных растворов повышают, вводя в них пластифицирующие добавки: пластификаторы ЛСТ, СДБ, суперпластификатор, а также ПВА - дисперсию или синтетический латекс. Последние добавки кроме пластифицирующего действия повышают адгезию растворных смесей и прочность штукатурного слоя. В растворы марок 100 и выше пластификатор добавляют обязательно. Этим снижают расход цемента и повышают водонепроницающую способность смеси.

Декоративные растворы применяют в качестве штукатурок и для настилки полов или для создания художественно-декоративного эффекта на отделываемой поверхности:

- известково-песчаные, с заполнителем из кварцевого песка, имитирующие травертин и песчаник;

- терразитовые, заполненные каменной крошкой и кварцевым песком, обрабатывается пескоструйкой, зубчатыми циклями, гвоздевыми щётками, имитирующие среднезернистый туф или песчаник;

- каменные, с заполнителем из каменной крошки (гранита, мрамора, диорита, кварцита), после обработки зубилом или бучардой и протравливания соляной кислотой обнажается поверхность из кислотостойких гранита, диорита и слюды;

- сграффито, с нанесением трёх разноцветных слоёв штукатурки, не позже 12 часов с момента наложения наносят контур рисунка и процарапывают его, получая рельефный рисунок с цветными светотенями.

Специальные растворы используют для покрытия поверхностей специальных сооружений – хранилищ, отстойников, тоннелей, топок:

- гидроизоляционные – жирные цементные растворы (состава 1:1 или 1:3), растворы на расширяющихся и напрягающих (НЦ) цементах, растворы на жидком стекле, растворные смеси с алюминатом натрия ($\text{Na}_2\text{O Al}_2\text{O}_3$), полимерцементные растворы, церезитовые растворы и др.;

- печные – глиняные растворы или смешанные с добавкой асбеста;

- теплоизоляционные – растворы с заполнителями из пористых материалов (вспученный перлит, керамзитовый песок, опилки и т.п.);

– акустические – сухие гипсоперлитовые смеси для устройства теплоизоляционных и акустических штукатурок (песок из вспученного перлита, гипс и замедлитель схватывания);

– огнезащитные – имеют состав, аналогичных акустическим и теплоизоляционным растворам, но с добавлением асбеста или минеральных гранул, в качестве связующего гипсовое вяжущее;

– рентгенозащитные – тяжелые растворы с плотностью более 2200 кг/м³ в составе портландцемента или шлакопортландцемента и тяжелых заполнителей – барит, магнезит, лимонит и т.п. в виде песка;

– кислотоупорные – на кислотоупорном жидкостекольном вяжущем с заполнителем из природного кварцевого песка, искусственного песка из андезита, бештаунита, гранита, смеси молотых диабазового литья и природного базальта, молотого боя керамических изделий, добавок для водостойкости.

8.4. Силикатные материалы и изделия автоклавного твердения

Производство силикатных строительных материалов базируется на гидротермальном синтезе гидросиликатов кальция, который осуществляется в реакторе-автоклаве в среде насыщенного водяного пара давлением 0,8-1,3 МПа и температурой 173-200°С. Для гидротермального синтеза можно использовать при надлежащем обосновании иначе параметры автоклавизации, применять обработку не только паром, но и паровоздушной или парогазовой смесью, водой.

Силикатные автоклавные материалы – это бесцементные материалы и изделия (силикатный кирпич, силикатные бетоны, камни, блоки), приготовленные из сырьевой смеси, содержащей известь (гашенную или молотую негашеную) кварцевый песок и воду, которые образуют в процессе автоклавной обработки гидросиликаты кальция:



Для снижения внутренних напряжений автоклавную обработку проводят по определенному режиму, включающему постепенный подъем давления пара в течение 1,5-2 часов, изотермическую выдержку изделий в автоклаве при температуре 175-200 °С и давлением 0,8-1,3 МПа в течение 4-8 часов и снижение давления пара в течение 2-4 часов. После автоклавной обработки продолжительностью 8-14 часов получают силикатные бетоны и силикатный кирпич.

Силикатный кирпич – искусственный камневидный материал, получаемый путем прессования увлажненной смеси кварцевого песка и извести с последующим запариванием в автоклаве. Сырьем служит кварцевый песок (92–94% от массы сухой смеси) и извести (6–8 %), считая не активную CaO. Перед прессованием в изделия известково-песчаную смесь увлажняют до 7–9 % по массе.

Кварцевые пески, применяемые в производстве кирпича, должны состоять из зерен различной крупности для уменьшения объема пустот, иметь примесей слюды не более 0,5 % и быть без включений глины, снижающих

качество изделий.

Известь может быть негашеной или гидратной с содержанием не более 5 % MgO . Наличие в извести пережога затрудняет гашение ее и может способствовать растрескиванию кирпича. Обычно используют быстрогасящуюся известь с содержанием около 70 % активной CaO .

Изготовление силикатного кирпича включает следующие операции: измельчение извести-кипелки, смешение извести с песком, гашение извести в смеси с песком, дополнительное перемешивание и увлажнение смеси до 7-9%, формование (прессование) кирпича и обработка сырца - кирпича в автоклавах. Основными операциями являются формование и запаривание сырца. Формование кирпича производится на рычажных прессах под давлением 15-20 МПа. Отформованный кирпич - сырец укладывается на вагонетки и подается для запаривания в автоклав.

Силикатный кирпич классифицируется по ряду признаков (рисунок 8.4) имеет такую же форму и те же размеры, как и обыкновенный глиняный – 250x120x65 мм.



Рисунок 8.4 – Классификация силикатного кирпича

Его изготавливают как сплошным, так и пустотелым. Выпускают также крупноразмерный кирпич (250x120x88мм) с пустотами.

В зависимости от предела прочности при сжатии и изгибе силикатный кирпич делят на марки 75, 100, 125, 200 и 250. Средняя плотность силикатного кирпича несколько выше, чем у обычного глиняного, и составляет до 1800-1900 кг/м³, теплопроводность находится в пределах 0,81-0,87 Вт/(м К).

По теплотехническим показателям силикатный кирпич подразделяют на эффективный с плотностью не более 1400 кг/м³ и теплопроводностью до 0,46 Вт/(мК), условно эффективный соответственно 1401-1650 кг/м³ и до 0,58 Вт/(мК) и обыкновенный с плотностью свыше 1650 кг/м³ и теплопроводностью до 0,7 Вт/(мК).

Водопоглощение кирпича должно быть не более 16% по массе, а морозостойкость – обусловлена марками: F 50, 35, 25 и 15.

По назначению этот кирпич называют рядовым и лицевым. Лицевой может быть неокрашенным и цветным: голубого, зеленоватого, желтого и других цветов (рисунок 8.5).



Рисунок 8.5 – Силикатный кирпич

Себестоимость силикатного кирпича примерно на 25-35 % ниже глиняного, так как в два раза меньше расход топлива, в три раза – электроэнергии, ниже трудоемкость производства. Он широко применяется для кладки несущих стен жилых, промышленных и гражданских зданий, для столбов, опор.

Однако по сравнению с обычным кирпичом силикатный имеет пониженную стойкость против воздействия некоторых агрессивных сред. Такой кирпич не следует использовать для кладки фундаментов, особенно в условиях высокого уровня грунтовых вод. Нельзя применять силикатный кирпич в изделиях и конструкциях, подверженных длительному воздействию температур свыше 500°C (печи, дымовые трубы и т.п.). При длительном нагреве силикатный кирпич разрушается вследствие дегидратации гидросиликата и гидроксида кальция.

Известково-шлаковый и известково-зольный кирпич изготавливают из смеси извести и гранулированного доменного шлака. Известки берут 3-12 % по объему шлака 88-97 % (рисунок 8.6).

а)



б)



Рисунок 8.6 – Известково-шлаковый (а) и известково-зольный (б) кирпич

При замене шлака золой получается известково-золенный кирпич. Состав смеси: 20-25 % извести и 80-75 % золы. Так же как и шлак, зола является дешевым сырьем, образующимся в больших количествах после сжигания топлива (каменного угля, бурого угля и др.) в котельных ТЭЦ, ГРЭС и др.

В процессе сгорания пылевидного топлива часть очаговых остатков оседает в топке (зола-шлак), а самые мелкие частицы золы уносятся в дымоходы, где задерживаются золоуловителями, а затем их транспортируют за пределы котельной – в золоотвалы. Наиболее тонкодисперсные золы называют золами-уноса.

При смешивании с водой золы не твердеют, однако при добавках извести или портландцемента они активизируются, а запаривание смеси в автоклавах дает возможность получать из них изделия достаточной прочности. Использование шлаков и зол очень выгодно, так как при этом снижается стоимость строительных материалов.

Известково-шлаковый и известково-золенный кирпичи формуют на тех же прессах, которые применяют при производстве силикатного кирпича, и запаривают в автоклавах.

Плотность шлакового и зольного кирпичей - 1400-1600 кг/м³, коэффициент теплопроводности - 0,5-0,6 Вт/(м² °С). По пределу прочности при сжатии шлаковой и зольный кирпичи разделяют на три марки: 75,50 и 25. Морозостойкость известково-шлакового кирпича такая же, как и силикатного, а известково-золенного – ниже.

Известково-шлаковый и известково-золенный кирпичи применяют для возведения стен зданий высотой не более трех этажей и для кладки верхних этажей многоэтажных зданий.

Силикатный бетон – камневидный искусственный строительный материал, получаемый из уплотненной и отвердевшей в автоклаве увлажненной смеси молотой негашеной извести (6-10%), молотого кварцевого песка (8-15%) и обычного кварцевого песка (70-80%) или другого заполнителя.

Силикатные бетоны могут быть:

- тяжелыми – со средней плотностью более 1800 кг/м³ (плотные заполнители – песок и щебень или гравий);
- легкими – со средней плотностью менее 1800 кг/м³ (заполнители – керамзит, алгопорит и др.);
- ячеистыми – со средней плотностью менее 500 кг/м³.

Разделяют бетоны мелкозернистые с крупностью зерен заполнителя до 5 мм и крупнозернистые с зернами более 5 мм.

Наибольшее применение получили тяжелые мелкозернистые бетоны с пределом прочности при сжатии 15, 20, 25, 30, 40 и 50 МПа. Можно изготовить высокопрочные силикатные бетоны с более высоким пределом прочности – 60,70, 80 МПа и более. Морозостойкость таких бетонов, особенно бетонов высокой прочности, достигает 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания без заметных следов разрушений структуры.

Кроме того, они обладают достаточной водостойкостью и стойкостью к воздействиям некоторых агрессивных сред. Прочность, морозостойкость и

другие свойства силикатных бетонов в значительной степени зависят от тонкости помола песка и содержания его в смеси при определенном количестве активной CaO . Так, при содержании активной CaO 12,5 % с увеличением удельной поверхности молотого песка прочность и морозостойкость силикатного бетона заметно возрастают.

Силикатные бетоны можно армировать как обычной, так и предварительно напряженной арматурой. Однако при влажном режиме эксплуатации конструкций арматуру следует защищать антикоррозионными составами. При нормальном режиме эксплуатации арматура в плотном силикатном бетоне не корродирует, поэтому силикатные бетоны широко применяют в промышленном и гражданском строительстве наравне с обычными цементными бетонами. Из тяжелых силикатных бетонов изготавливают все несущие конструкции: панели стен и перекрытий, лестничные марши и площадки, балки, колонны, плиты и другие детали для сборного промышленного, гражданского и сельскохозяйственного строительства (рисунок 8.7).



Рисунок 8.7 – Панели стен жилого дома из силикатного бетона

Из прочных силикатных бетонов изготавливают также напряженно-армированные железнодорожные шпалы, тубинги для шахтного строительства и метро, безасбестовый шифер и другие изделия.

Силикатный бетон находит применение для строительства сборных покрытий и оснований, дорог общего пользования. Он имеет высокую сопротивляемость износу (не более 0,3 мм в год) и высокий коэффициент сцепления с колесом автомобиля (0,65-0,80). Кроме несущих конструкций из силикатных бетонов (с добавкой цемента М400) изготавливают облицовочные изделия, в частности силикатные облицовочные плиты. Их применяют для облицовки кирпичных жилых, и промышленных зданий, за исключением цоколей, наружных подоконников, поясков и других частей зданий, подвергающихся значительному увлажнению.

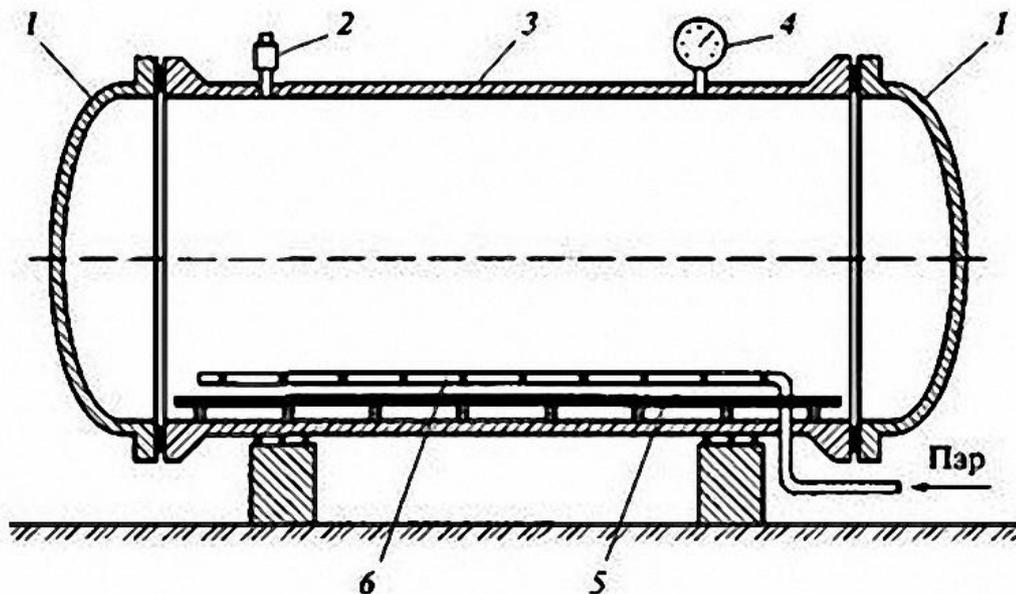
Возможность окраски силикатных плит в различные цвета с помощью щелочестойких пигментов позволяет повысить их декоративные качества и широко использовать для архитектурной отделки фасадов зданий.

В настоящее время значительное внимание уделяется развитию производства легких силикатных бетонов с применением пористых заполнителей, например керамзита, аглопорита, вспученного перлита, шлаковой пемзы и др. Вяжущим веществом в таких бетонах служит тонкомолотая известково-кремнеземистая смесь, обеспечивающая приобретение прочности в условиях автоклавной обработки.

Силикатные изделия ячеистой структуры могут быть также в виде пено- и газосиликата.

Пеносиликат – камневидный строительный материал ячеистого строения, получаемый смешиванием технической пены с предварительно размолотой известково-песчаной смесью.

Для изготовления пеносиликата берут обычно до 25 % молотой извести – кипелки и кварцевый песок. Кроме песка могут быть использованы доменный шлак, золы, трепел, диатомит и другие заполнители с большим содержанием кремнезема. Известь и заполнители подвергают совместному или раздельному измельчению, после чего приготавливают ячеистую смесь путем перемешивания известково-песчаного раствора с устойчивой технической пеной. Готовую ячеистую смесь выпускают из смесительного барабана пенобетомешалки в раздаточный бункер, а затем разливают в форму будущего изделия. По прошествии 6-8 ч пеносиликат в формах направляют в автоклавы (рисунок 8.8) для запаривания и отвердевания.



1 – сферические крышки; 2 – предохранительный клапан; 3 – цилиндрический металлический корпус; манометр; 5 – рельсы для вагонеток; 6 – паропровод

Рисунок 8.8 – Схема автоклава

Газосиликат – искусственный каменный материал ячеистого строения, в котором пористая структура известково-песчаной смеси образуется введением газообразователей. Технологический процесс получения газосиликата сходен с процессом из производства газобетона и состоит в основном из измельчения извести и песка, приготовления известково-песчаного раствора совместно с газообразователем, формования изделия и запаривания в автоклаве. Характеристики газосиликатного блока приведены на рисунке 8.9.



Рисунок 8.9 – Характеристики газосиликатного блока

Недостатки газосиликата: наличие пористой структуры у газосиликата приводит к низкой марке по прочности, соответствующей, как правило, 25-35 кг/см²; слабое сопротивление механическим воздействиям; большое водопоглощение; высокая гигроскопичность; имеет значительную степень усадки; под воздействием высокой влажности в воздухе, может появиться устойчивый неприятный запах строительной извести; срок службы железной арматуры в стенах из газобетона значительно сокращается.

Из силикатных бетонов ячеистой структуры изготавливают изделия со средней плотностью 300-1200 кг/м³ и пределом прочности при сжатии 0,4-20,0 МПа. Такие изделия характеризуются мелкопористой структурой и малой теплопроводностью - 0,1-0,35 Вт/(мК) и достаточной морозостойкостью. Пено- и газосиликаты с малой средней плотностью (до 500 кг/м³) используют для утепления строительных конструкций и тепловых установок (трубопроводов, котлов и др.). Изделия с пределом прочности 2,5-7,5 МПа и теплопроводностью до 0,29 Вт/(мК) применяют для изготовления крупногабаритных наружных и внутренних стен, перегородок и перекрытий зданий. Для перекрытий промышленных и жилых зданий изготавливают армопеносиликатные плиты с пределом прочности при сжатии выше 7,5 МПа. Плиты размерами (150-300)х50х(10-14) см не требуют дополнительной теплоизоляции, являются достаточно прочными и долговечными.

8.5. Асбестоцементные изделия

Асбестоцементные изделия получают в результате затвердевания смеси, состоящей из цемента, асбеста (10-20% от массы цемента) и воды.

Состав и структура асбестоцемента обеспечивает изделиям в несколько раз большую прочность при растяжении и изгибе, чем их имеют цементный камень или цементный бетон. Другие положительные характеристики этого материала: повышенная сопротивляемость ударным нагрузкам, возможность выбора окраски изделий по желанию заказчика, сравнительно малая масса стеновых панелей при использовании теплозащитных вкладышей, высокие теплофизические характеристики, высокая огнестойкость. Поэтому продукция асбестоцементной промышленности пользуется у строителей большим спросом. Кроме традиционного шифера и труб (рисунок 8.10), в строительстве широко применяют вентиляционные короба, электроизоляционные доски, изделия «малых форм» – подоконники, оконные сливы и др.



Рисунок 8.10 – Асбестоцементные изделия

Сырьевые материалы. Портландцемент. В качестве вяжущего для производства асбестоцемента применяют портландцемент марок 400 и 500. В нем не допускается содержание добавок, кроме гипса. Количество трехкальциевого силиката (алита) должно быть не менее 52%, трехкальциевого алюмината – не более 8%, свободной извести - не более 1% (по массе). С повышением содержания C_3S в клинкере портландцемента увеличивается количество песка.

Асбест - природный тонковолокнистый минерал, состоящий из водных или безводных силикатов магния, а некоторые разновидности - из силикатов кальция и натрия. Для производства асбестоцементных изделий применяется хризотил-асбест ($2MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$). Диаметр волокон асбеста 1 мкм, однако при гидромеханической обработке асбестовый камень расщепляется до среднего диаметра волокон 0,02 мм. Волокна асбеста обладают гибкостью, прочностью до 600-800 МПа и введение их в качестве армирующего компонента в цемент (10-20 %) позволяет в 3-5 раз увеличить прочность цементного камня при растяжении и изгибе, а также стойкость к ударным воздействиям.

Товарный асбест производится 8-ми сортов (от 0 до 7) и 42 марок. Чем больше средняя длина волокон, тем выше сорт. Для производства асбестоцементных изделий применяется коротко волокнистый асбест - 3,4,5 и 6-го сортов с длиной волокон 0,3-10 мм.

Вода, используемая для распушки асбеста, промывочных работ и тем более для затворения цемента должна быть свободной от глинистых примесей, органических веществ или продуктов их разложения, минеральных солей. При использовании оборотной воды содержание взвешенных веществ не должно превышать 100 мг/л, величина рН – не менее 8,5. Температура воды в технологическом цикле обычно составляет 30-40 °С.

Кроме трех основных компонентов (портландцемент, асбест, вода) применяют добавочные вещества – пластифицирующие, уплотняющие, гидрофобизирующие и др., а также пигменты для придания изделию определенной окраски. Особенно важно добавлять вещества, повышающие фильтруемость суспензии на стадии формования листов.

Производство асбестоцементных изделий. Способы производства асбестоцементных изделий в зависимости от количества воды, которая используется при их изготовлении, подразделяются на: мокрый, полусухой и сухой. При мокром способе изделия формируют, используя асбестоцементные суспензии, содержащие 8-16 % асбеста и цемента и 92-84% воды. При полусухом способе изделия получают из концентрированной сметанообразной массы, содержащей 20-40 % воды. При сухом способе, производство изделий осуществляется из увлажненной асбестоцементной смеси с содержанием воды 12-16 %. В технологии производства асбестоцементных изделий имеются технологические операции, которые производятся при всех способах: приготовление шихты асбеста, распушка асбеста, смешение его с цементом и водой, формование изделий, их твердение, механическая обработка.

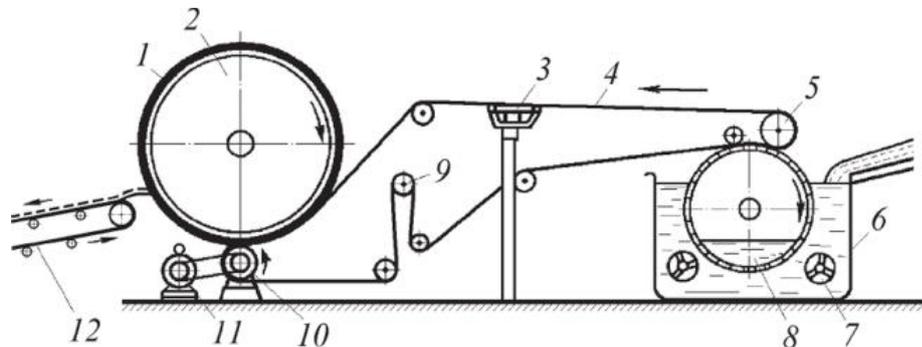
Приготовление шихты заключается в составлении смесей асбеста нескольких марок с тем, чтобы при формировании обеспечить высокую фильтрацию, плотность и водоудерживающую способность асбестоцементных масс.

Распушка асбеста производится в два этапа: обминание пучков асбеста на бегунах или валковых машинах и затем расщепление размятых пучков на отдельные волокна в голлендерах или гидропушителях при мокром способе и в дезинтеграторах при полусухом и сухом способах производства изделий.

Приготовление асбестоцементных смесей производится в зависимости от способов производства в различных устройствах.

Асбестоцементная суспензия производится в голлендерах или турбосмесителях, куда подается асбестовая суспензия после гидравлической распушки, цемент и дополнительное количество воды до содержания ее в суспензии 97-86 %. Асбестоцементные смеси для полусухого и сухого способа производства изделий получают двухстадийным перемешиванием: вначале в смесителе сухих компонентов, затем в бетоносмесителе циклического действия с добавлением воды.

Формование изделий. Сущность формования изделий состоит в отфильтровании воды из асбестоцементной массы до необходимого уплотнения и придания ей заданных формы и размеров. При мокром способе производства формование листовых изделий производится получением цилиндрических пластичных асбестоцементных полуфабрикатов с использованием кругло-сетчатых машин (рисунок 8.11).



- 1 – асбестоцементный накат; 2 – формовочный барабан; 3 - вакуум-коробка;
 4 – техническое сукно; 5 – отжимной валок; 6 – ванна; 7 – лопастные мешалки;
 8 – сетчатый барабан; 9 - натяжное устройство; 10 – пресс-вал; 11 – электропривод;
 12 – транспортер

Рисунок 8.11 – Схема формовочной машины для производства асбестоцементных изделий

Он применяется для низкоконцентрированных суспензий (8... 10%), которые наливаются в ванну 6 формовочной машины. Вращаясь в ванне, сетчатый барабан 8 накапливает на сетке асбестоцементный слой (вода проходит внутрь барабана, а твердые частицы задерживаются) и перемещает его к замкнутой ленте технического сукна 4. Под нажимом валка 5 суспензия переходит на сукно, а избыточная вода отжимается.

Далее суконная лента движется над вакуум-коробкой 3, которая дополнительно отсасывает часть воды. В зазоре между прессовым валом 10 и форматным барабаном 2 асбестоцементный слой уплотняется и переходит с сукна на поверхность форматного барабана, где он накапливается, образуя так называемый накат 1. По достижении заданной толщины накат разрезают и снимают в виде листа с помощью транспортера 12. Затем изделия подвергаются прессованию или волнированию на прессах и беспрокладочных волнировщиках.

Для формования труб вместо форматного барабана 2 устанавливают съемную цилиндрическую скалку и после образования наката заменяют ее другой. Вытянув скалку из наката, получают полуфабрикат в виде трубы.

Твердение асбестоцементных изделий, как правило осуществляется в две стадии, предварительное твердение до набора прочности, обеспечивающей дальнейшее бездефектное внутризаводское транспортирование и окончательное.

Предварительное твердение изделий после выдержки при нормальных условиях в течение 6-8 часов осуществляется в пропарочных камерах при температуре 50-60 °С в течение 12-16 часов. Предварительное твердение труб и других изделий может осуществляться и в бассейнах с водой при температуре не ниже 20 °С в течение 3-8 суток. Окончательное твердение изделий на портландцементе производится в закрытых помещениях (теплых складах) при нормальных условиях в течение не менее 7 суток. Окончательное твердение изделий на песчанистом цементе производится в автоклавах при давлении пара 0,8 МПа и температуре 172-174 °С в течение 12-16 часов.

Механическая обработка изделий производится после предварительного или окончательного их твердения и включает операции: обрезка кромок листов, обрезка труб по торцам и обтачивание концов напорных труб со снятием фаски.

Основные виды асбестоцементных изделий. Основные виды асбестоцементных изделий включают: кровельные, стеновые, декоративные, погонажные трубы и специальные изделия.

Кровельные изделия. К кровельным асбестоцементным изделиям относятся: волнистые листы различного профиля и фасонные детали к ним, крупноразмерные плоские листы для плит покрытий, армированный конструктивный настил, панели экструзионные, плитки для кровель малоэтажных зданий.

Волнистые листы («шифер») – основной вид **листовых** асбестоцементных изделий. Шифер широко используется в качестве кровельного материала (его доля в общем объеме производства кровельных материалов – около 50 %).

Волнистые листы производят различных размеров по длине, ширине, толщине, шагу и высоте волны, используют для покрытий жилых, общественных и промышленных зданий. В широкой номенклатуре этих листов предусмотрены основные размеры: длина - в пределах от 1200 (листы ВО) до 2500 мм (листы усиленного профиля, унифицированного профиля и др.), ширина листов - от 686 до 1150 мм (в зависимости от профиля). Чем больше размеры по длине и ширине, тем толще листы - от 5,5 до 7,5 мм. Высота и шаг волны листов приняты соответственно в пределах 28-54 и 115 -200 мм. Долговечность асбестоцементных кровель до 50 лет.

Конструктивный армированный настил применяется для перекрытия 9-метровых пролетов сельскохозяйственных производственных зданий, стальная арматура размещена в растянутой зоне в виде полос прямоугольного сечения или крупных стержней.

Плитки кровельные асбестоцементные плоские предназначены для малоэтажных сельских зданий и индивидуального строительства. Наиболее применяемый размер 400х400 мм с двумя срезанными углами. Обрезанные углы у плиток позволяют образовать плотное покрытие кровли при минимальном их расходе (10 шт. на 1 м²). При использовании плиток без срезанных углов кровля может быть образована только при двухслойном покрытии. Плитки укладываются по сплошной или разреженной обрешетке, крепятся

оцинкованными гвоздями и противоветровой кнопкой. Предел прочности плиток при изгибе 24 МПа, а морозостойкость 50 циклов.

Панели экструзионные асбестоцементные. В отличие от изделий, получаемых по традиционной технологии, в которых волокна ориентированы преимущественно в плоскости изделия, в экструзионных волокна расположены беспорядочно. Из-за этого для обеспечения равной прочности расход асбеста при экструзионной технологии выше и составляет 20% (от общей массы материала) против 15% при традиционном методе формования. Экструзия – выдавливание пластичной массы.

Поверхность экструзионных изделий гладкая. При резком нагреве до 400-600°С они не «взрываются», как обычные (например, шифер), имеющие слоистую структуру. Морозостойкость этих изделий не менее F50.

Панели экструзионные применяются для устройства бесчердачных покрытий промышленных зданий под рулонную кровлю с сухим и нормальным режимом эксплуатации и для подвесных потолков.

Панели высотой 120x180 мм применяются для кровли, а высотой 80 мм - для подвесных потолков. Панели шириной 595 мм - основные, а шириной 295 мм - доборные.

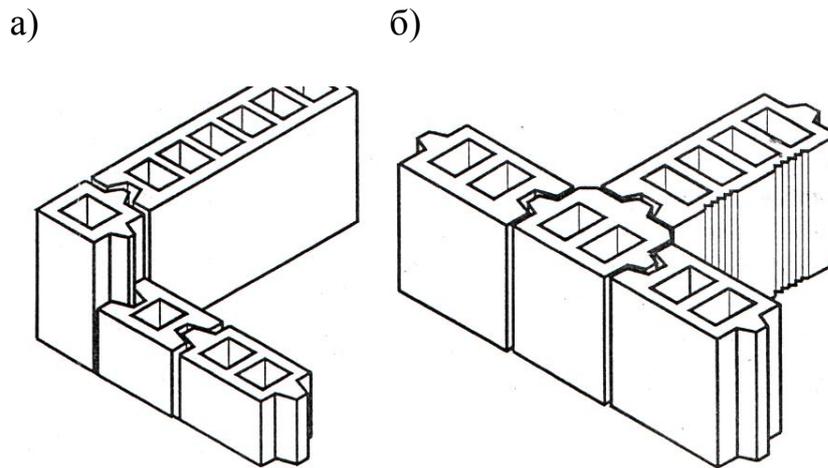
Панели для бесчердачных покрытий изготавливаются коробчатого типа и из отдельных плоских и профилированных листов в виде трехслойных конструкций с внутренним теплоизоляционным слоем. В зависимости от назначения предусматривают два типа плит: рядовые АП и краевые АПК. Длина плит 1500-3000 мм, высота 120 мм, ширина АП-700 мм, АПК-347 мм.

Стеновые изделия: листовые, плоские крупногабаритные листы, панели и плиты экструзионные, панели стеновые наружные на деревянном и асбестоцементном каркасах.

Волнистые листы при длине 2,5 м являются эффективными изделиями для стеновых ограждающих конструкций неотапливаемых промышленных зданий. К ним относятся листы профиля 40/150 и листы среднеевропейского профиля 51/177.

Плоские листы применяют для наружной и внутренней облицовки стен, потолков, перегородок по деревянному каркасу, для изготовления санитарно-технических кабин, балконных ограждений, облицовки коридоров, лестниц. Санитарными нормами разрешено использование асбестоцементных плит для отделки интерьеров при условии облицовки их поверхности полимерными пленками или окраски эмалями. Их выпускают прессованными и непрессованными, с гладкой или тисненной (рельефной) поверхностью длиной до 2,8 м, шириной до 1,6 м и толщиной 4-10 мм.

Панели и плиты экструзионные. Экструзионными технологиями – продавливанием вязкого материала (пасты) через формующее отверстие получают изделия длиной до 6 м, шириной до 750 мм, высотой 60-180 мм, которые применяются как стеновые конструкции и перегородки (рисунок 8.12). В качестве утеплителя применяют полужесткие минераловатные плиты. Стеновые экструзионные изделия могут иметь покрытия широкой цветовой гаммы на основе акриловых смол.



а – угловые; б – переходные

Рисунок 8.12 – Асбестоцементные экструзивные панели перегородок

Асбестоцементные трубы. Асбестоцементные трубы – перспективный вид труб самого широкого назначения, обладающих комплексом ценных свойств. Они не подвержены коррозии как металлические, значительно легче и не склонны к обрастанию. За счет низкой теплопроводности у асбестоцементных труб меньше промерзают. Трубы соединяются с помощью муфт. Они составляют около 10% в общем балансе труб, применяемых в строительстве, выпускаются напорные и безнапорные, разной толщиной и прочностью.

Безнапорные трубы БНТ применяются для ненапорной канализации, прокладки кабелей и дренажных коллекторов, устройства дымовых и вентиляционных каналов, а также столбов для оград. Безнапорные трубы выпускаются диаметром 100 и 150 мм, длиной от 3 до 6 м.

Напорные трубы используют для водо- и газоснабжения, вентиляции, устройства колодцев. Особенно эффективны такие трубы для прокладки теплотрасс. Напорные трубы имеют длину 4,5 и 6 м, диаметр от 100 до 500 мм. Трубы выпускают под рабочее давление 0,6; 0,9; 1,2 и 1,5 МПа. В настоящее время производятся трубы с газонепроницаемыми полимерными покрытиями. Капитальные вложения и эксплуатационные расходы по газопроводу из асбестоцементных труб на единицу транспортируемого газа уменьшаются в 3 раза, по сравнению с газопроводом из стальных труб.

Напорные трубы стыкуются с помощью самоуплотняющихся муфт. Резиновые уплотнители муфт имеют несквозные цилиндрические пустоты. В них входит жидкость, транспортируемая по трубам под давлением, и расширяет резиновые уплотнители, обеспечивая тем самым герметичность стыка.

Среди асбестоцементных изделий следует отметить:

- декоративные (различные плитки с покрытием);
- погонажные (швеллеры, сливы, раскладки, парапеты и др.);
- специальные (вентиляционные короба, полуцилиндры теплоизоляции трубопроводов, элементы сводов туннелей и др.).

Основные свойства асбестоцементных изделий. Основные свойства

асбестоцементных изделий - прочность и деформативность, при воздействии статических и динамических (ударных) нагрузок.

Для повышения сопротивляемости изделий воздействию атмосферных осадков, агрессивной внешней среды необходимо также обеспечить их достаточную плотность – водонепроницаемость, минимально допустимое водопоглощение и др. Конкретные показатели качества асбестоцементных изделий определены в соответствующих стандартах:

– средняя плотность волнистых листов в высушенном состоянии должна быть не менее $1,75 \text{ г/см}^3$ с водопоглощением менее 25%;

– минимальный предел прочности при изгибе волнистых листов должен быть в пределах от 15,7 до 19,6 МПа;

– листы должны быть морозостойкими $F25$ (у профиля УВ – $F50$);

– прочность напорных водопроводных трубы разделяют на классы: до 0,6 МПа - класс ВТ6; до 0,9 МПа - класс ВТ9, до 1,2 МПа - класс ВТ12 и др.;

– газопроводные трубы по разделяют на марки: для газопроводов низкого давления (до 0,005 МПа) – марка ГАЗ-НД, для газопроводов среднего давления (до 0,3 МПа) – марка ГАЗ-СД;

– ударная вязкость, т.е. сопротивляемость изделий ударной нагрузке, выражается работой затрачиваемой на разрушение образцов стандартных размеров при ударном воздействии маятника – для листов УВ толщиной 6-7,5 мм изменяется от 1,5 до 1,8 Дж/м² в зависимости от сорта.

– модуль упругости асбестоцемента при растяжении (асбестоцемент в основном работает на растяжение) при нагрузке до 0,75-0,85 разрушающей равен: 12000 МПа – у непрессованного асбестоцемента с плотностью до $1,7 \text{ кг/м}^3$, изготовленного на 5-6-м сортах асбеста; 18000 МПа – у прессованного с объемной массой до $1,9 \text{ г/см}^3$, изготовленного на 3-4-м сортах асбеста.

– теплостойкость – способность асбестоцемента выдерживать без потери прочности высокие температуры, по результатам исследований для асбестоцемента принята температура 500°С.

Контрольные вопросы

1. Строительные растворы состав, классификация.
2. Материалы для приготовления строительных растворов.
3. Технология приготовления растворов, их транспортирование.
4. Характеристика штукатурных и кладочных растворов.
5. Что такое смешанные растворы?
6. Декоративные растворы и растворы специального назначения.
7. Силикатный кирпич – сырье, классификация, основные свойства.
8. Что представляет собой силикатный бетон?
9. Автоклав, какие процессы происходят при автоклавной обработке.
10. Где применяют известково-шлаковый известково-золенный кирпич?
11. Что такое пеносиликат и газосиликат?
12. Сырьевые материалы для асбестоцемента.
13. Способы производства асбестоцементных изделий.
14. Изделия из асбестоцемента, области их применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ануфриев, Д.П. Новые строительные материалы и изделия: Региональные особенности производства [Текст]: учебник /Д.П. Ануфриев [и др.], – Москва: Издательство АСВ, 2014. – 200 с.
2. Белов, В.В. Строительные материалы [Текст]: учебник /В.В. Белов, В.Б. Петропавловская, Н.В. Храмцов. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 271 с.
3. Белов, В.В. Краткий курс материаловедения и технологии конструкционных материалов для строительства [Электронный ресурс]: учебное пособие /В.В. Белов. – М.: Издательство АСВ, 2011 – 215 с. Источник: Российская государственная библиотека (РГБ) ISBN:978-5-93093-409-0.
4. Киреева, Ю.И. Современные строительные материалы и изделия [Текст]: учебник /Ю.И. Киреева. – М.: Изд-во "Феникс", 2010. – 246 с.
5. Основы строительного дела. Раздел «Материаловедение и технология конструкционных материалов» [Текст]: учеб. пособие для студентов по направлению подготовки 280100 «Природообустройство и водопользование» /А.М. Питерский, Е.О. Складенко; Новочерк. гос. мелиор. акад.; каф. строит. дела, осн. и фундаментов. – Новочеркасск, 2013. – 136 с.
6. Попов, К.Н. Оценка качества строительных материалов [Текст]: учеб. пособие для строит. спец. вузов /К.Н. Попов, М.Б. Каддо, О.В. Кульков; под ред. К.Н. Попова. – М.: Высш. шк., 2004. – 287с.
7. Строительное материаловедение [Текст]: учеб. пособие для бакалавров /И.А. Рыбьев. – 4-е изд. М.: Издательство Юрайт. 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр.
8. Строительные материалы [Текст]: учебник для студентов учреждений высш. проф. образования / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – 2-е изд., стер. – М: Студент, 2019. – 440 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Лекция 1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	5
1.1. Основные понятия, общие сведения о строительных материалах	5
1.2. Классификация строительных материалов и изделий	6
1.3. Строение и основные свойства строительных материалов. Физические, механические, химические, технологические свойства	8
Контрольные вопросы	15
Лекция 2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	16
2.1. Классификация и краткая характеристика горных пород. Породообразующие минералы	16
2.2. Горные породы, применяемые в строительстве	19
2.3. Способы разработки и обработки природных камней. Хранение и транспортировка каменных материалов и изделий	24
Контрольные вопросы	32
Лекция 3. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	33
3.1. Минеральные (неорганические) вяжущие вещества, определение и классификация	33
3.2. Воздушные вяжущие вещества. Атоклавные вяжущие	34
3.3. Гидравлические вяжущие вещества	40
3.4. Портландцемент – состав, способы производства, свойства	41
Контрольные вопросы	48
Лекция 4. РАЗНОВИДНОСТИ ЦЕМЕНТОВ, НАПОЛНИТЕЛИ И ДОБАВКИ. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕМЕНТОВ	49
4.1. Разновидности портландцемента	49
4.2. Активные минеральные добавки. Инертные добавки и наполнители	51
4.3. Цементы на основе активных минеральных и инертных добавок. Тампонажные материалы	52
4.4. Условия применения цементов для бетонных и железобетонных конструкций	57
4.5. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения цемента	60
4.6. Пути экономии цемента	64
Контрольные вопросы	65
Лекция 5. БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ...	66
5.1. Определение и классификация бетонов. Состав бетона и свойства бетонной смеси	66
5.2. Структура, характеристики, классы и марки бетона	72
5.3. Свойства и основы технологии бетона	80
Контрольные вопросы	86
Лекция 6. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ БЕТОН	87

6.1. Особенности, свойства и виды гидротехнического бетона	87
6.2. Свойства бетонной смеси и основы технологии гидротехнического бетона	89
6.3. Требования к применению гидротехнического бетона	92
Контрольные вопросы	98
Лекция 7. КОНСТРУКЦИОННЫЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОН	99
7.1. Определение и классификация железобетонных конструкций	99
7.2. Свойства бетона, арматуры и железобетона, основы технологии сборных железобетонных изделий	101
7.3. Монолитный и сборно-монолитный железобетон – основы технологии, применение в водохозяйственном строительстве	107
7.4. Предварительно напряженный железобетон	110
Контрольные вопросы	112
Лекция 8. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ. ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	113
8.1 Строительные растворы, определение и классификация	113
8.2. Факторы, влияющие на свойства строительных растворов	115
8.3. Приготовление и транспортирование растворов. Виды растворов ...	118
8.3. Силикатные материалы и изделия автоклавного твердения	122
8.4. Асбестоцементные изделия	129
Контрольные вопросы	135
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	136

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

МИХЕЕВ ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

курс лекций

*для студентов специальности
08.05.01 – Строительство уникальных зданий и сооружений,
специализация: «Строительство гидротехнических сооружений
повышенной ответственности»*

часть 1

Компьютерная верстка Михеева П.А.

Подписано в печать 07.08.2020 г. Формат 60×84 ¹/₈
Усл. печ. л. 8,68. Уч.-изд. л. Усл. кр.-отг.
Тираж – 40 экз. Изд. №..... Заказ

Издательство РГАУ-МСХА
127550, Москва, Тимирязевская ул., 44.