

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра химической технологии вяжущих материалов

ГИДРОЛИЗ И ТВЕРДЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

**Программа, методические указания и контрольные задания
для студентов заочной формы обучения
специальности 1-48 01 01 «Химическая технология
неорганических веществ, материалов и изделий»
специализации 1-48 01 01 07 «Технология строительных
материалов на основе вяжущих веществ»**

Минск 2013

УДК 66.093.8(073)

ББК 35.41я73

Г46

Рассмотрены и рекомендованы редакционно-издательским советом университета

Составитель

А. А. Сакович

Рецензент

профессор, доктор технических наук,
заведующий кафедрой технологии стекла и керамики БГТУ

И. А. Левицкий

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2013 год. Поз. 187.

Предназначены для студентов заочной формы обучения специальности 1-48 001 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 07 «Технология строительных материалов на основе вяжущих веществ».

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2013

ВВЕДЕНИЕ

В строительстве широко применяют искусственные строительные конгломераты (ИСК), в большей части которых заполнитель сцементирован в общий монолит. Отличительная способность искусственных и природных конгломератов в том, что их образование происходит с обязательным цементированием полизернистых или другого вида дискретных заполнителей (волокнистых, пластинчатых и др.) посредством вторичных (вяжущих) веществ или первичных связей (химических, электрических и др.). С помощью ИСК изготавливают конструкции и возводят сооружения практически любых форм и размеров, любой целесообразной прочности, а также с приданием им других необходимых свойств, обеспечивающих надежность и долговечность. Эти материалы позволяют производить корректирование состава и свойств применительно к целям строительства. Ориентировочные подсчеты показывают, что 90% и больше от общего количества известных строительных материалов приходится на долю ИСК и их компонентов – вяжущих веществ и заполнителей. Оставшиеся 10% или менее от общего количества материалов составляют в основном металлические и деревянные материалы. Эти материалы также имеют структуры, сходные с ИСК. Они содержат «заполнитель» в виде совокупности кристаллов и «вяжущую часть» – своеобразные аморфные вещества. Все известные и неизвестные к настоящему времени ИСК можно объединить в два типа: **безобжиговые**, затвердевание которых происходит при сравнительно невысоких температурах в результате направленного структурообразования под влиянием химических и физико-химических превращений вяжущего вещества, особенно в состоянии растворов (молекулярных и коллоидных, жидких и твердых, разбавленных и концентрированных); **обжиговые**, затвердевание которых происходит в основном при остывании огненно-жидких расплавов, выполняющих в конгломератах функцию вяжущего вещества.

Выделение этих двух типов является условным, поскольку иногда затруднительно провести четкую границу между ними, как и между растворами и расплавами. Возможен также тип конгломератов, затвердевание которых происходит при последовательном или параллельном совмещении процессов, характерных для обоих типов. Безобжиговые ИСК занимают доминирующее положение. Цементирующая часть в них может представлять собой следующие вяжущие: неорганические, органические (в том числе полимерные), комплексные. ИСК

можно подразделять также по массе (особо тяжелые, тяжелые, легкие, ячеистые), по производственному назначению (конструкционные, теплоизоляционные, гидротехнические, химические стойкие и т. п.) и так далее. Подавляющее большинство процессов, связанных с производством и применением строительных материалов, имеют химическую природу. При возведении жилых домов из кирпича или бетонных изделий на 1 м² жилой площади расходуется в среднем до 300 кг вяжущих веществ. Ввиду расширения круга вяжущих материалов, охватывающих разнообразные по химическим свойствам соединения, существует множество их классификаций. Так, например, их можно сгруппировать:

- по степени дисперсности гетерогенных систем (Н. Ф. Федоров);
- кристаллохимическому принципу (Е. А. Эванс);
- различию химико-физических процессов при твердении (В. Ф. Журавлев).

В данном пособии используется общепринятое разделение вяжущих в зависимости от условий твердения и области их применения.

Курс «Гидролиз и твердение минеральных вяжущих веществ» в теоретических положениях и при изучении технологических вопросов опирается на знания студентов, полученные по химии, физике, кристаллографии и минералогии, химической технологии вяжущих веществ и другим учебным дисциплинам.

Учебным планом по курсу данного предмета предусмотрены лекции в объеме 10 ч; лабораторные занятия – 4 ч; самостоятельная работа – 104 ч; одна контрольная работа на VI курсе; экзамен на VI курсе.

Контрольные задания и вопросы предназначены для подготовки студента к выполнению теста по указанной дисциплине.

ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ КУРСА

Раздел 1. Основные сведения о вяжущих веществах

1.1. Понятие о вяжущих веществах

Определения и общие положения по химии твердения минеральных вяжущих веществ.

Вяжущими веществами называют порошкообразные материалы, способные при смешивании с водой образовывать пластичную удобообрабатываемую массу, со временем затвердевающую в прочное, камневидное тело.

Вяжущие вещества в зависимости от происхождения делятся на две группы: *неорганические (минеральные) вяжущие вещества*; *органические вяжущие вещества*, в основном продукты перегонки нефти и каменного угля (битумы, дегти).

Минеральными вяжущими называются дисперсные неорганические вещества, которые после затворения водой или водными растворами образуют пластичную массу, способную затвердевать в камневидное тело.

На основе вяжущих веществ создают искусственные смеси (строительные), которые в зависимости от состава называют: **цементное тесто** – смесь вяжущего вещества и воды; **цементный камень** – отвердевшее цементное тесто; **растворная смесь** – смесь вяжущего вещества, воды и мелкого заполнителя (песка); **строительный раствор** – отвердевшая растворная смесь; **бетонная смесь** – смесь вяжущего вещества, воды, крупного и мелких заполнителей (песка и гравия или щебня); **бетон** – отвердевшая бетонная смесь; **железобетон** – бетон в сочетании со стальной арматурой.

1.2. Классификация вяжущих веществ

Классификация минеральных вяжущих веществ в зависимости от состава, условий твердения, основных свойств, области применения. Вяжущие гидравлического и воздушного твердения.

К **гидравлическим вяжущим** веществам относят следующие: *известковые* (слабогидравлические, сильногидравлические); *романцемент*; *портландцемент и его разновидности* (портландцемент

быстротвердеющий, БТЦ, пластифицированный, гидрофобный, сульфатостойкий, с умеренной экзотермией, декоративный и др.); *пуццолановые цементы* (пуццолановый портландцемент, известково-пуццолановые цементы); *шлаковые цементы* (шлакопортландцемент, известково-шлаковые цементы); *глиноземистый цемент*; *специальные цементы* (расширяющиеся и безусадочные, жароупорные, кислотоустойкие цементы и др.).

Воздушные вяжущие материалы после смешивания с водой переходят в камневидное состояние, твердеют, повышая свою прочность только на воздухе. К воздушным вяжущим материалам относят: *известковые* (негашеная молотая, гашеная (гидратная) известь, известковое тесто); *гипсовые* (*низкообжиговые*: строительный, формовочный, высокопрочный гипс; *высокообжиговые*: ангидритовое вяжущее, эстрих-гипс); *магнезиальные* (каустический магнезит, каустический доломит); растворимое стекло.

1.3. Сырье для производства вяжущих материалов

1.4. Краткие сведения о развитии производства минеральных вяжущих веществ

1.5. Физико-химические свойства вяжущих веществ

Основными физико-химическими свойствами вяжущих веществ являются: дисперсность, пластичность, способность к твердению.

1.6. Кинетика твердения

1.7. Растворимость вяжущих веществ

Под **растворимостью** вяжущего вещества понимают максимально возможную концентрацию вещества в растворе, соответствующую равновесию с метастабильной твердой фазой при определенных условиях.

1.8. Характер связи в новообразованиях

В процессе твердения вяжущего вещества образуются новые структуры, которые П. А. Ребиндер подразделяет следующим образом.

1. **Коагуляционные структуры.** Они возникают за счет сил межмолекулярного взаимодействия и обладают свойством тиксотропии и высокой эластичностью. Коагуляционные структуры не прочны, но период их существования можно удлинить добавлением ПАВ.

В стадии образования коагуляционных структур выгодно производить уплотнение, так как для этого требуется наименьшая энергия.

2. Условно-коагуляционные структуры. Они образуются за счет механического переплетения в виде «хвоста» или «войлока» частиц удлиненной формы, между которыми отсутствует жидкая прослойка. При смачивании прочность этих структур снижается, а затем восстанавливается при вторичном высушивании. Подобной структурой обладает гипс.

3. Кристаллизационные структуры. Они возникают при химическом взаимодействии кристаллов соответствующих гидратов, не обладают эластичностью и разрушаются необратимо.

Раздел 2. ГИДРОЛИЗ И ТВЕРДЕНИЕ КЛИНКЕРНЫХ МИНЕРАЛОВ И ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

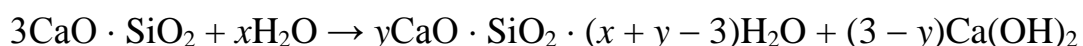
2.1. Природа вяжущих свойств силикатов, алюминатов и ферритов кальция

Под вяжущими свойствами следует понимать проявление в процессе работы дисперсной системы – цементного теста – способности к отверждению, сопровождающемуся адгезией.

Минералы цементного клинкера (алит, белит и так называемое промежуточное вещество, заполняющее интерстиции между кристаллами силикатных фаз) нельзя рассматривать в самостоятельном виде как вяжущее. Вяжущие свойства проявляются вяжущей системой – дисперсной системой, состоящей из порошкового компонента (цемента) и жидкости затворения.

2.2. Механизм гидратации и цементирующего действия вяжущих веществ

2.2.1. Продукты гидратации клинкерных минералов. Трехкальциевый силикат. Трехкальциевый и двухкальциевый силикаты составляют 80–90% от всей массы клинкера. В присутствии ограниченных количеств воды реакция между C_3S и водой может быть представлена следующим образом [1]:



или более конкретно:

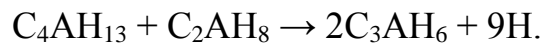


Двухкальцевый силикат. При гидратации C_2S , как и C_3S , имеются неопределенности, связанные с нахождением стехиометрического состава фазы С-S-H; гидратация двухкальцевого силиката может быть представлена следующим уравнением:



Количество $3\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующегося в результате такой реакции, меньше, чем при гидратации C_3S . Фаза двухкальцевого силиката гидратируется намного медленнее, чем фаза трехкальцевого силиката.

Трехкальцевый алюминат. Трехкальцевый алюминат реагирует с водой, образуя C_2AH_8 и C_4AH_{13} (гексагональные фазы). Эти продукты термодинамически нестабильны, поэтому без стабилизации или добавок они переходят в фазу C_3AH_6 (кубическая фаза). Соответствующие уравнения:

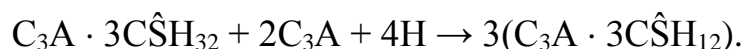


В насыщенном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ реагирует C_2AH_8 с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образуя в зависимости от условий C_4AH_{13} или C_3AH_6 . Кубическая форма (C_3AH_6) может образоваться и в результате непосредственной гидратации C_3A при повышенных температурах.

Фаза C_3A реагирует с гипсом в течении нескольких минут, образуя эттрингит:

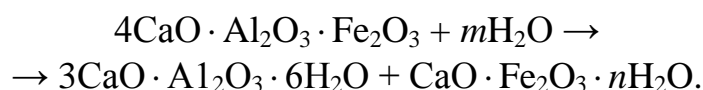


После того как весь гипс перейдет в эттрингит, избыток C_3A вступает в реакцию с эттрингитом, образуя низкосульфатную форму гидросульфатоалюмината кальция:



Ферритная фаза. Фаза C_4AF дает в целом те же продукты гидратации, что и C_3A , но при более медленном протекании реакции. В присутствии воды образуются аморфные $\text{C}_2(\text{A}, \text{F})\text{H}_6$ или $\text{C}_4(\text{A}, \text{F})\text{H}_{13}$ и $(\text{A}, \text{F})\text{H}_3$.

Четырехкальцевый алюмоферрит при действии воды гидролитически расщепляется с образованием шестиводного трехкальцевого алюмината и гидроферрита кальция по схеме:



Однокальциевый гидроферрит, взаимодействуя с гидроксидом кальция, который образовался при гидролизе C_3S , переходит в более основной гидроферрит кальция $3(4)CaO \cdot Fe_2 \cdot O_3 \cdot nH_2O$. Гидроалюминат связывается добавкой гипса, а гидроферрит входит в состав цементного геля.

***Портландцемент.** Реакционная способность клинкерных фаз: влияние значительных вариаций состава, влияние ионных замещений, дефектов структуры и полиморфизма.*

Скорость гидратации составляющих портландцемента зависит от размеров кристаллов, их дефектности, размеров частиц и их распределения по размерам, скорости охлаждения клинкера, площади поверхности, наличия добавок, температуры и т. д.

В гидратированном цементе образуются такие продукты гидратации, как гель C-S-H, $Ca(OH)_2$, эттрингит (А, F-3-фазы), моносulfатная фаза (А, F-1-фаза), гидрогранаты и, возможно, аморфные фазы с высоким содержанием ионов (Al^{3+} и SO_4^{2-}).

2.2.2. Элементарный акт взаимодействия цемента с водой. При соприкосновении кристалла с водой на поверхности кристалла происходят следующие процессы:

а) адсорбция молекул H_2O на поверхности кристалла, при этом происходит электролитическое разложение молекул воды на H^+ и OH^- ;

б) взаимодействие ионов OH^- и H_3O^+ и диполей воды с активными центрами кристалла (сначала возникают слабые связи, затем и сильные связи хемосорбции);

в) развитие ионного обмена $Ca^{2+} \leftrightarrow 2H^+$, переход гидратированных ионов в раствор или структурная перестройка гидратированных атомов в гидратные фазы в самом реакционном слое, образование первичных зародышей гидратных соединений $Ca(OH)_2$, C_xSH_n , C_xAH_n ;

г) интенсивный переход в раствор ионов $(Ca(OH))^-$ и H_3SiO^{4-} , $(H_2SiO_4)^{2-}$, насыщение и пересыщение водного раствора;

д) кристаллизация пересыщенных водных растворов.

2.2.3. Механизм гидратации цемента.

2.2.4. Стадии процесса твердения.

Раздел 3. ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИ ТВЕРДЕНИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

3.1. Этапы формирования прочной кристаллизационной структуры цементного камня

В процессе твердения, т. е. формирования прочной кристаллизационной структуры, следует различать следующие три этапа.

1. Индукционный период выкристаллизовывания (гидратации), когда выкристаллизовывание новообразований практически еще не происходит или происходит с весьма малой скоростью.

2. Индукционный период структурообразования, включающий в себя индукционный период гидратации, но продолжающийся и после его окончания до возникновения в твердеющей суспензии сплошного каркаса кристаллизационной структуры, что связано с началом интенсивного нарастания прочности.

3. После создания сплошного каркаса кристаллизационной структуры начинается интенсивное нарастание прочности, связанное с дальнейшим развитием и упрочнением структуры. В начале этого процесса, когда пересыщения в жидкой фазе суспензии еще достаточно велики, наряду с ростом кристаллов, составляющих структуру, и прорастанием возникших ранее дендритовых образований (участков структуры) друг в друга появляются новые кристаллизационные контакты.

Под структурой цементного камня понимают вид и количество гидратной фазы, объем, размер и распространение пор и взаимное расположение указанных элементов [10].

Гидратная фаза. При анализе структуры цементного камня рассматриваются 3 типа структур:

- коагуляционные – суспензия цементных материалов в начальный период гидратации. Возникает в результате сцепления через прослойку жидкости. Частицы образуют беспорядочную пространственную сетку. Данная структура малопрочная и тиксотропная;
- конденсационная – возникает за счет уменьшения жидких прослоек между частицами, происходит упрочнение структуры;
- кристаллизационная – образование кристаллизационной и гелеобразной фаз, срастание монокристаллов. Их формирование – основа прочности твердеющей системы.

Прочность кристаллов гидратных фаз и их сростков. Прочность (R) монокристаллов гидратных соединений (изометрические игольчатые образования) изменяется в зависимости от состава: 62–2000 МПа.

Наибольшая прочность у низкоосновных ГСК – 1350–2000 МПа. Это объясняется тем, что в кристаллической решетке превалирует ковалентная связь Si-O, прочность которой в несколько раз выше ионной. Высокоосновные ГСК характеризуются превалированием ионных связей – прочность равна примерно 770 МПа. $R(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 325$ МПа, прочность гипса и ГСАК (связи SO_4^{2-} более сильные, чем СА) $R_{\text{гипс}} = 176$ МПа, $R_{\text{ГСАК}} = 62$ МПа.

Морфология кристаллов. Прочность кристаллов с увеличением диаметра игольчатых кристаллов линейно уменьшается. Это объясняется тем, что чем более тонкий кристалл, тем меньше дефектов, например, молекулярного порядка, в его структуре ($R_{\text{кристалла}}$ приближается к $R_{\text{теорет}}$). Число опасных дефектов пропорционально объему монокристалла [11].

Прочность сростков кристаллов. В процессе формирования структуры цементного камня сростки кристаллов образуются закономерным и не закономерным путем. Механизм зависит от особенностей кристаллической структуры кристаллов, состава и свойств водного раствора, ориентации кристаллов и усилия их сжатия между собой.

Закономерные сростки ГСК и ГСК появляются на стадии зародышеобразования в пересыщенном растворе. Сильное пересыщение в начальный период гидратации вызывает образование таких закономерных сростков, как друзы, дендриты, лучистые образования. Сложные зародыши со временем развиваются и достигают больших величин. Прочность контактов сростков выше отдельных ветвей сростков. Зародыши могут образовывать и не закономерные сростки, как правило, меньшей прочности.

3.2. Поровое пространство

Основной объем пор (70–80%) в цементном камне суточного возраста приходится на микропоры (радиусом менее 1000 Å), т. е. твердение цементов в течение одних суток уже придает структуре цементного камня микропористый характер. Суммарная (интегральная) пористость цементного камня из высокоалюминатных цементов больше, чем из низкоалюминатных. Это превышение обусловлено в основном тем, что для камня из высокоалюминатных цементов характерно повышенное количество пор с размерами 100–1000 Å. Эти данные можно объяснить большими контракционными явлениями в начальный период твердения при повышенном содержании C_3A в

цементе. Алитовые цементы образуют в суточном возрасте камень со структурой, отличающейся большим содержанием макропор (более 1000 \AA), чем в структуре камня из белитовых цементов, что можно объяснить наличием кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$, разрыхляющих структуру. Абсолютное значение максимума на дифференциальных кривых в области пор радиусом 50 \AA находится в прямой пропорциональной зависимости от содержания C_3S в цементах.

При переходе от 1 к 7 сут. твердения микропористый характер структуры не претерпевает существенных изменений, суммарная пористость камня при этом значительно снижается, причем для ма-лоалюминатных цементов это снижение особенно заметно.

К 28 сут. твердения содержание гелевых пор (радиусом менее 100 \AA) возрастает. Количество пор радиусом $100\text{--}1000 \text{ \AA}$ снижается в результате коагуляции их более дисперсными гелевидными новообразованиями.

Изменения в поровой структуре цементного камня в возрасте 90–365 сут. соответствуют протекающим процессам «старения» гидратных новообразований, заключающихся в кристаллизации и перекристаллизации метастабильных кристаллов гидросульфоалюминатов кальция. Эти процессы носят деструктивный характер и могут сопровождаться сбросами прочности.

3.3. Водоцементное отношение

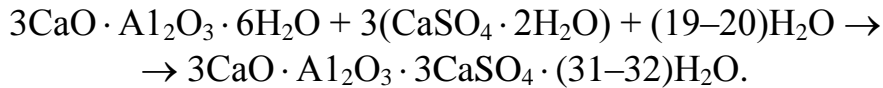
Количество воды, необходимое для полной гидратации цемента, составляет 24–26% от массы портландцемента, а по условиям получения пластичного цементного теста требуется воды значительно больше (40–60%). Испаряемая вода на разных этапах твердения постепенно уходит из цементного камня. Поэтому часть объема цементного камня (иногда до 25–35%) приходится на поры и капилляры, оставленные водой, что отрицательно сказывается на прочности и морозостойкости камня.

Количество новообразований прямо пропорционально степени гидратации цемента, численно равной отношению прореагировавшей с водой части цемента к общей массе цемента.

При увеличении степени гидратации цемента возрастает объем новообразований и уменьшается пористость цементного камня, при этом повышается прочность и долговечность бетона. Совершенствуя технологию бетона, нужно добиваться наиболее полного использования вяжущего, что эквивалентно его экономии.

3.4. Схватывание

Регулирование сроков схватывания портландцемента осуществляется введением при помоле небольшой добавки двуводного гипса (до 3,5% по СТБ). В результате химического взаимодействия трехкальциевого гидроалюмината с введенным гипсом и водой образуется труднорастворимый гидросульфоалюминат кальция (этtringит) по схеме:



При правильной дозировке гипса он является не только регулятором сроков схватывания портландцемента, но и улучшает свойства цементного камня.

Факторами, определяющими сроки схватывания портландцемента, являются:

- вещественный состав цемента (присутствие в цементе гидравлических или инертных добавок замедляет схватывание);
- минералогический состав клинкера (цементы на основе высокоалюминатных клинкеров схватываются быстрее);
- тонкость помола цемента (чем тоньше размолот цемент, тем, при прочих равных условиях, он быстрее схватывается);
- содержание в цементе щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658\text{K}_2\text{O} = \text{R}_2\text{O}$). При высоком содержании щелочей ($>1,0\%$) сроки схватывания сокращаются, что может быть причиной быстрого схватывания даже при предельно допустимом содержании гипса ($4\% \text{SO}_3$);
- сроки схватывания удлиняются при повышении В/Ц и при снижении температуры твердения.

В целом различают три вида процесса схватывания – мгновенное, нормальное и ложное.

3.5. Влияние структуры цементного камня на его свойства

Наиболее важным свойством на основе портландцемента является *прочность*.

А. В. Волженским предложена следующая классификация основных факторов, обуславливающих прочностные и деформативные свойства, а также долговечность цементного камня:

1) свойства и содержание (концентрация) по массе и объему вяжущего вещества в единице объема исходной слитной его смеси с водой, обуславливающие начальную пористость системы;

2) содержание (концентрация) по массе и объему негидратированной части вяжущего и гидратных новообразований в объеме твердеющей системы, зависящих от степени гидратации вяжущего и обуславливающих характер и объем его пор;

3) свойства частиц гидратных новообразований, предопределяющие микроструктуру затвердевшей системы;

4) удельная теплота, скорость гидратации и тепловыделения вяжущих веществ;

5) наличие в твердеющей смеси различных добавок (регуляторов скорости твердения, пластифицирующих, гидрофобизирующих и т. п.).

Раздел 4. ГИДРАТАЦИЯ И ТВЕРДЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ ВЯЖУЩИХ

4.1. Вяжущие на основе гипса

Гипсовые вяжущие подразделяют на две группы: *низкообжиговые* и *высокообжиговые*.

Модификации гипса. Сырьем для производства гипсовых вяжущих является природный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ангидрит CaSO_4 , глиногипс и некоторые отходы промышленности. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ обладает слоистой структурой. Отдельные слои состоят из SO_4^{2-} и Ca^{2+} с молекулами воды на внешних поверхностях.

Эндотермические реакции ступенчатой дегидратации протекают следующим образом (при условной температуре 25°C):



Термическая обработка гипса ведется при $140\text{--}190^\circ\text{C}$. При нормальном давлении и 107°C образуется полугидрат $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$; под давлением 1,3 атм. и 115°C образуется полугидрат $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$.

β – модификация состоит из мелких кристаллов с нечетко выраженными гранями и плотностью $2,67\text{--}2,68 \text{ г/см}^3$, обладает повышенной водопроницаемостью.

α – форма состоит из крупных кристаллов в виде игл или призм с плотностью $2,72\text{--}2,73 \text{ г/см}^3$ и обладает пониженной водопотребностью и повышенной прочностью.

При нагревании гипса до температуры выше 450°C образуется нерастворимый ангидрит CaSO_4 , который при 750–1000°C разлагается на CaO и SO_3 .

4.1.1. Твердение неводостойких гипсовых вяжущих веществ. *Теоретические основы твердения гипсовых вяжущих веществ: теории твердения гипсовых вяжущих веществ (А. Ле Шателье, В. Михаэлис, А. А. Байкова).*

4.1.2. Твердение водостойких гипсовых вяжущих веществ. Твердение гипсоцементно-пуццолановых и гипсоцементношлако-пуццолановых, а также композиционных гипсовых вяжущих – результат сложных физико-химических процессов, приводящих к образованию новых гидратных веществ (по сравнению с гипсовым вяжущим), обуславливающих основные свойства вяжущих и приближающих их к портландцементу.

В основе твердения гипсоцементно-пуццолановых и гипсоцементношлако-пуццолановых вяжущих, по теории А. В. Волженского, лежит принцип перевода высокоосновных гидроалюминатов (ферритов) кальция в твердеющей смеси гипсовых вяжущих с портландцементом в низкоосновные с помощью кислых активных минеральных добавок (известных в литературе также под названием «пуццолановых» или «гидравлических») и создания условий для образования и существования этtringита.

4.1.3. Особенности твердения гипсовых вяжущих из гипсосодержащих отходов. Гипсовые вяжущие, полученные из гипсосодержащих отходов различных отраслей промышленности, содержат в своем составе как исходное гипсосодержащее сырье, так и неорганические и органические примеси (растворимые и малорастворимые). Эти примеси по-разному влияют на сроки схватывания и процесс твердения вяжущих, полученных из гипсосодержащих отходов.

4.1.4. Структура затвердевших гипсовых вяжущих веществ и ее влияние на физико-механические свойства. Во многих работах, в частности П. П. Будникова, П. А. Ребиндера, Е. Е. Сегаловой и др., указывается, что образование структуры твердеющего гипсового вяжущего протекает в две стадии. На первой стадии формируется каркас кристаллизационной структуры с возникновением контактов срастания между кристалликами новообразований, а на второй новые кристаллизационные контакты не возникают, а происходит обрастание уже имеющегося каркаса, т. е. рост составляющих его кристалликов.

При этом происходит как рост прочности структуры, так и уменьшение ее за счет появления внутренних растягивающих напряжений, возникающих в результате направленного роста кристаллов. Форма кристаллов не зависит, а размеры кристаллов зависят от водогипсового отношения: чем оно больше, тем крупнее кристаллы.

В настоящее время установлено, что перекристаллизация и укрупнение кристаллов двуhydrата обычно приводит не к росту прочности материала (как полагал А. А. Байков), а к ее снижению. Повышенной же прочностью обладает мелкокристаллическая структура.

Важной характеристикой структуры водостойких и неводостойких гипсовых вяжущих является *пористость*.

Поровое пространство затвердевшего гипсового вяжущего состоит из пор, образованных в результате процесса кристаллизации, испарения избыточной воды и вовлеченного воздуха. При этом структура гипсового камня является макропористой, так как около 95% объема пор составляют поры радиусом более 1000 А.

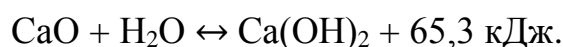
4.1.5. Влияние добавок на схватывание, твердение и формирование структуры гипсовых вяжущих веществ.

4.2. Твердение известковых и магнезиальных вяжущих веществ

4.2.1. Вяжущие на основе извести. Обожженную известь измельчают гашением или помолом. К воздушной извести относят: негашеную комовую, негашеную молотую, гидратную (пушонку), карбонатную, известковое тесто.

4.2.2. Карбонатное, гидратное и гидросиликатное твердение извести. *Механизм твердения негашенной извести. Пути управления процессами схватывания и твердения извести: управление скоростью гидратации; управление процессами схватывания и твердения извести на стадии коагуляционного структурообразования; управление процессами схватывания и твердения на стадии ее кристаллизации; управление процессами схватывания и твердения на стадии ее высыхания; управление процессами схватывания и твердения на стадии ее карбонизации.*

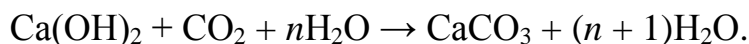
Гидратным твердением называют процесс постепенного превращения в твердое камневидное тело известковых растворных и бетонных смесей на молотой негашенной извести. Происходит это в результате взаимодействия такой извести с водой и образования гидроксида кальция:



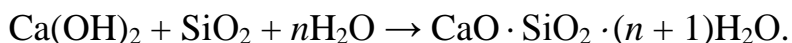
Карбонатным твердением называют процесс постепенного затвердевания растворных или бетонных смесей, изготовленных на гашеной извести, при воздействии на них углекислоты. Твердение при этом обусловлено одновременным протеканием двух процессов:

1) кристаллизации гидроксида кальция из насыщенного водного раствора;

2) образования карбоната кальция по реакции:



Гидросиликатным твердением называют процесс превращения известково-кремнеземистых смесей в твердое камневидное тело, обусловленный образованием гидросиликатов кальция, в частности, при тепловлажностной обработке в автоклавах насыщенным паром под давлением в 0,9–1,6 МПа, что соответствует температурам 174,5–200°С:



4.2.7. Твердение магнезиальных вяжущих. *Гидратация и твердение магнезиальных вяжущих веществ: затворители для магнезиальных вяжущих; продукты гидратации; регулирование процесса твердения; структурообразование при твердении магнезиальных вяжущих, условия и скорость гидратации.*

Особенностью магнезиальных вяжущих по сравнению с остальными вяжущими является то, что для их затворения используются растворы солей, а не вода.

Хлорид магния $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ выпускается промышленностью в виде технического плавленого продукта. Сырьем для производства хлорида магния служит карналлит или рапа. Хлорид магния высокогигроскопичен. Поэтому изделия из каустического магнезита, затворенные хлоридом магния, весьма гигроскопичны. Хлорид магния обычно используют в виде водного раствора плотностью 1,08–1,25 г/см³. Соотношение между компонентами по весу: MgO – 62–67%, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 38–33%.

Сульфат магния $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ входит в состав рапы всех самосадочных озер. Это так называемая горькая соль. Хотя прочность вяжущих, затворенных сульфатом магния, ниже прочности вяжущих, затворенных MgCl_2 , гигроскопичность их гораздо меньше. Плотность растворов $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, применяемых в качестве затворителя, колеблется от 1,10 до 1,15 г/см³. Соотношение между компонентами по весу: MgO – 80–84%, MgSO_4 (безводный) – 16–20%. Иногда применяют в смеси с MgCl_2 и железный купорос FeSO_4 . Железный купорос FeSO_4 увеличивает водостойкость изделий и снижает их гигроскопичность.

Раздел 5. ГИДРАТАЦИЯ И ТВЕРДЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЦЕМЕНТОВ

5.1. Доменные шлаки и их роль при твердении шлаковых цементов

Доменные шлаки: образование, обработка и использование в композиционных цементах; факторы, влияющие на пригодность шлака для использования в композиционных цементах.

5.1.1. Грануляция шлаков. Шлаки, предназначенные для производства вяжущих материалов по выходе из домны, подвергаются грануляции, в результате которой структура их меняется и они становятся мелкозернистыми. Осуществляется это путем резкого охлаждения шлакового расплава водой, иногда с применением механического раздробления еще жидкого или полужатвердевшего шлака. В зависимости от влажности получаемого продукта используют грануляционные устройства для мокрой либо полусухой грануляции.

5.1.2. Состав и структура шлаков. Основными качественными характеристиками доменных шлаков является их основность, сопротивление измельчению, реакционная способность, химический состав и его стабильность. Плотность шлаков колеблется в пределах 2,7–3 г/см³, насыпная плотность – 1,3–1,5 г/см³. Гидравлические свойства доменного граншлака определяется по величине коэффициента качества (К), который в зависимости от содержания оксида магния определяется по формулам:

при содержании окиси магния до 10%:

$$K = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{MgO}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{TiO}_2};$$

при содержании окиси магния более 10%:

$$K = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + 10}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{TiO}_2 + \% (\text{MgO} - 10)}.$$

5.1.3. Твердение шлакопортландцемента. По СТБ ЕН 197-1, доменного шлака в этом цементе должно быть не меньше 6% и не больше 35% массы цемента; часть шлака можно заменить активной минеральной добавкой (трепелом, не более 10% массы цемента), что способствует улучшению технических свойств вяжущего. Гипс ускоряет схватывание шлакопортландцемента, однако дозировку его нужно устанавливать экспериментально.

5.2. Активные минеральные добавки

5.2.1. Основные виды активных минеральных добавок. Активные минеральные добавки – это неорганические природные и искусственные материалы, обладающие гидравлическими и (или) пуццолановыми свойствами. При смешении в тонкоизмельченном виде с гидратной известью и гипсом при затворении водой они должны образовывать тесто, способное после предварительного твердения на воздухе продолжать твердеть под водой. Активные минеральные добавки вводят в состав цементов для улучшения их строительно-технических свойств. Добавками осадочного происхождения являются диатомит, трепелы и опоки.

К активным минеральным добавкам вулканического происхождения относятся пеплы, туфы, пемзы, витрофиры и трассы. Это продукты извержения вулканов, отложившиеся на разном расстоянии от места извержения и в различной степени охлажденные; при резком охлаждении из пород быстро выделяются газы, что повышает их пористость. В зависимости от последующего воздействия атмосферных агентов и степени уплотнения они разделяются на рыхлые пеплы – пуццоланы, камневидные пористые – вулканические туфы и сильно уплотненные разности – трассы.

5.2.2. Твердение пуццоланового портландцемента. Это гидравлическое вяжущее, получаемое путем совместного тонкого измельчения портландцементного клинкера, необходимого количества гипса и активной минеральной добавки либо тщательным смешиванием тех же материалов, измельченных раздельно. Содержание активных минеральных добавок в пуццолановом портландцементе СТБ ЕН 197-1 должно составлять от 6 до 35% массы. Количество вводимой в состав цемента активной минеральной добавки зависит от ее активности. Чем она выше, тем меньше добавки надо вводить в состав пуццоланового портландцемента для химического связывания гидроксида кальция, образующегося в процессе гидратации клинкерной части цемента.

Пуццолановые портландцементы отличаются несколько замедленным твердением при нормальной температуре в первые сроки и при испытании в растворах пластичной консистенции не достигают показателей прочности на сжатие, характерных для исходных портландцементов к 28 суткам. При твердении во влажных условиях или в воде прочность пуццоланового портландцемента во времени повышается и превышает прочность исходного портландцемента не только на изгиб, но и на сжатие.

5.3. Зола-унос для производства композиционных цементов

5.3.1. Виды золошлаковых отходов ТЭС. В зависимости от вида сжигаемого угля, способа сжигания, температуры факела, способа золоудаления, сбора и хранения золы на ТЭС образуются:

1) зола-унос при сухом золоудалении с осаждением частиц золы в циклонах и электрофильтрах и накоплением в силосах;

2) топливные шлаки при полном плавлении минеральной части топлива, осаждении расплава в нижней части топки котла и грануляции расплава водой аналогично придоменной грануляции доменных шлаков;

3) золошлаковая смесь при совместном мокром удалении уловленной обеспыливающими устройствами золы-уноса и топливных шлаков, образующихся в котле. Золошлаковая смесь в виде пульпы направляется в золоотвалы.

5.3.2. Дисперсность зол. Золо-унос, предназначенные для использования в качестве активной минеральной добавки к цементу, по дисперсности делят на два класса:

- класс А – зола с удельной поверхностью более 300 м²/кг;
- класс Б – зола с удельной поверхностью от 200 до 300 м²/кг.

Золо с удельной поверхностью менее 200 м²/кг использовать в качестве добавки к цементу не рекомендуется.

5.3.3. Морфология зол-уноса. Морфология зол-уноса определяется прежде всего видом сжигаемых углей, а тип золы – кислая или основная – ее химическим составом, способом сжигания угля и улавливания золы и другими факторами.

5.3.4. Влияние золы-уноса на свойства цемента. *Кислые золы. Основные золы.*

5.3.5. Специальные зольные цементы. *Стехиометрия гидратации золоцементов.*

5.4. Микрокремнезем

Цементы и бетоны с содержанием микрокремнезема. Источники и производство микрокремнезема. Химические и физические характеристики. Виды и сорта микрокремнезема.

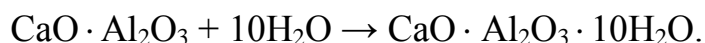
Раздел 6. ГИДРАТАЦИЯ И ТВЕРДЕНИЕ АЛЮМИНАТНЫХ, РАСШИРЯЮЩИХСЯ И ДРУГИХ ЦЕМЕНТОВ

6.1. Гидратация и твердение алюминатных (глиноземистых) цементов

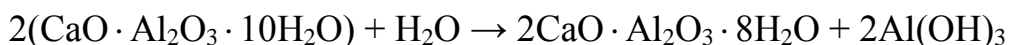
Преобладающими кристаллическими фазами являются однокальциевый алюминат CA и диалюминат кальция CA_2 , помимо которых в небольшом количестве могут присутствовать $C_{12}A_7$, C_2A , C_2S и другие минералы.

Твердение глиноземистого цемента – результат взаимодействия составляющих его минералов, в первую очередь основного компонента – однокальциевого алюмината $CaO \cdot Al_2O_3$, с водой с образованием гидратных соединений.

Однокальциевый алюминат $CaO \cdot Al_2O_3$ при ограниченном количестве воды в смеси и при температуре не выше $20-22^\circ C$ реагирует по схеме:



При $22-30^\circ C$ в присутствии воды $CA_{H_{10}}$ постепенно переходит в двухкальциевый гидроалюминат $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8H_2O$, выделяющийся в виде пластинчатых кристаллов гексагональной системы. Одновременно образуется гидроксид алюминия в виде гелевидной массы:



При температурах выше $30^\circ C$ $CA_{H_{10}}$ и $C_2A_{H_8}$ переходят в трехкальциевый гидроалюминат $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ с выделением гидрата глинозема (гиббсита) и воды. Преобразование $CA_{H_{10}}$ и $C_2A_{H_8}$ в $C_3A_{H_6}$ в большей мере зависит не только от температуры, но и от показателя рН среды: чем они выше, тем интенсивнее протекают реакции перехода гексагональных низкоосновных гидроалюминатов кальция в стабильный кубический $C_3A_{H_6}$.

6.2. Гидратация и твердения расширяющих цементов

Основные виды и типы расширяющихся цементов. Химический и минералогический состав. Реакции гидратации и продукты. О физико-химической природе расширяемости цементов.

Физико-химическая природа увеличения объема цементного камня при твердении расширяющихся цементов все еще остается неясной, несмотря на большое число предложенных гипотез.

Так, многие исследователи полагают, что одна из основных причин, вызывающих на определенном этапе твердения увеличение объема системы (расширяющийся цемент + вода), – образование гидросульфоалюмината кальция. При этом отдельными учеными эта «сульфоалюминатная» гипотеза излагается в следующих вариантах.

6.2.1. Гипотеза Лосье-Люфума.

6.2.2. Гипотеза П. П. Будникова и И. В. Кравченко.

6.2.3. Гипотеза Шассевана и Штиглица.

6.2.4. «Сольватная» гипотеза Г. Н. Сиверцева.

6.2.5. Гипотеза расширения под действием осмотических сил.

Раздел 7. ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ И НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ГИДРАТАЦИЮ И ТВЕРДЕНИЕ ЦЕМЕНТОВ. АВТОКЛАВНАЯ ОБРАБОТКА

7.1. Влияние пропаривания на твердение цемента

Согласно ГОСТ 10178-85, цементы по эффективности использования при пропаривании подразделяются на три группы (см. табл.).

Таблица

Предел прочности цемента при сжатии после пропаривания, МПа

Группа по эффективности пропаривания	Вид цемента	Марки цемента			
		300	400	500	550–600
1	ПЦ	Более 23	Более 27	Более 32	Более 38
	ШПЦ	Более 21	Более 25	Более 30	
2	ПЦ	20–23	24–27	28–32	33–38
	ШПЦ	18–21	22–25	26–30	
3	ПЦ	Менее 20	Менее 24	Менее 28	Менее 33
	ШПЦ	Менее 18	Менее 22	Менее 26	

7.2. Автоклавная обработка цементов

Тепловлажностная обработка цементов при повышенном давлении водяного пара (запаривание) осуществляется обычно при 0,9 МПа и,

соответственно, 175°C. В последнее время установлена целесообразность применения давления пара в 1,2–1,6 МПа. Автоклавная обработка является способом интенсивного ускорения твердения вяжущих, крайне медленно затвердевающих при нормальной температуре и пропаривании. Автоклавный способ ускорения твердения наиболее глубоко изучен и отражен в трудах П. И. Боженова, А. В. Волженского и ряда других советских ученых. По этому способу могут быть получены бетоны, основным компонентом которых являются многие виды промышленных отходов – доменных и других металлургических шлаков, нефелиновых шламов, топливных, в том числе сланцевых зол и шлаков, магнезиальных пород, глинистых материалов и др.

Автоклавная обработка существенно ускоряет также твердение и портландцемента. Состав продуктов гидратации синтетического C_3S в условиях автоклавной обработки зависит от температуры. При 170–200°C образуются $C_2SH(A)$, $C_2SH(C)$ и C_3SH_2 наряду с $Ca(OH)_2$ в соотношениях, зависящих от условий твердения. При 160–250°C в результате гидратации β - C_2S появляется $C_2SH(C)$.

7.3. Гидратация портландцемента при отрицательных температурах

Исследования показали, что при действии низких температур на сформированный цементный камень фазовый состав гидратных образований изменяется незначительно. Основные изменения обусловлены сублимацией льда и превращениями сильнооводненных гидратных соединений, например, этtringита.

7.4. Механизм разрушения структуры бетона при замораживании

Раздел 8. ХИМИЯ БЕТОНОВ

8.1. Коррозия вяжущих материалов

Коррозия – процесс разрушения материала, потери его полезных свойств, вызываемый, как правило, комплексом различных внешних воздействий.

8.1.1. Факторы коррозионного воздействия. Степень воздействия агрессивных сред на бетоны определяется: для газовой среды –

видом и концентрацией газов, их растворимостью в воде, влажностью, температурой; *для твердой* (соли, аэрозоли, пыль, грунты) – дисперсностью, растворимостью в воде, гигроскопичностью и т. п.; *для жидкой* – наличием и концентрацией агрессивных агентов, температурой, величиной напора или скоростью движения жидкости у поверхности конструкций.

Анализ явлений, лежащих в основе процессов разрушения строительных конструкций, показывает, что они протекают обычно под воздействием различных факторов, среди которых следует выделить: **физические** – перепады температур (попеременное замерзание и оттаивание), изменение фазового состава частей материала и среды (кристаллизация солей, испарение воды); **химические** – действие кислот, щелочей, солей, органических соединений; **электрохимические** – возникновение и работа микро- и макрогальванопар в токопроводящей среде; **биологические** – воздействие бактерий и микроорганизмов (особенно тех, которые в результате жизнедеятельности выделяют кислоты); **физико-химические** – явления усадки и набухания, возникновение вредных напряжений за счет капиллярных сил и осмотических явлений (например, при взаимодействии щелочей цемента с активным кремнеземом); **механические** – истирание, вибрация и т. п.

8.1.2. Типы коррозионных процессов.

8.1.3. Химическая коррозия. *Коррозия выщелачивания. Кислотная коррозия. Сульфатная коррозия. Магнезиальная коррозия. Химическая коррозия под действием органических веществ. Коррозия под действием газов. Коррозия, вызываемая щелочами.*

8.2. Методы защиты от коррозии вяжущих материалов

8.2.1. Предотвращение и снижение степени химической коррозии цементного камня и бетона.

8.2.2. Выбор технологических режимов.

8.2.3. Введение добавок.

8.2.4. Получение особо плотных материалов.

8.2.5. Некоторые способы обработки материалов и изделий.

8.2.6. Влияние минералогического состава клинкера и выбор вяжущего.

Раздел 9. ХИМИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ БЕТОНА

9.1. Общая характеристика и классификация химических добавок для бетона

9.1.1. Классификация химических добавок. Добавки, применяемые для модифицирования свойств бетонов и растворов, в зависимости от основного эффекта действия подразделяют на три группы.

Первая группа – это добавки, регулирующие свойства готовых к употреблению бетонных и растворных смесей. К ним относятся: *пластифицирующие – водоредуцирующие* (суперпластифицирующие, высокопластифицирующие, пластифицирующие); *стабилизирующие*; *регулирующие сохраняемость подвижности*; *поризующие* (воздухововлекающие, пенообразующие, газообразующие).

Вторая группа объединяет добавки, изменяющие свойства бетонов и растворов: *регулирующие кинетику твердения* (ускорители, замедлители); *повышающие прочность*; *снижающие проницаемость*; *повышающие защитные свойства по отношению к стальной арматуре*; *повышающие морозостойкость*; *повышающие коррозионную стойкость* (повышающие сульфатостойкость, повышающие стойкость против коррозии, вызванной реакцией кремнезема заполнителей со щелочами цемента и добавок); *регулирующие процессы усадки и расширения*.

К **третьей группе** относят добавки, придающие бетонам и растворам специальные свойства: *противоморозные*; *гидрофобизирующие*; *биоцидные*; *повышающие стойкость к высолообразованию*.

Принадлежность любой химической добавки, в том числе и новой, к той или иной группе определяется по критериям эффективности по методикам ГОСТ 30459.

Критерий эффективности – это количественное значение технического эффекта, характерного для каждой группы добавок. Введением в состав бетонной смеси химических добавок в виде отдельных продуктов или их сочетаний достигается один или одновременно несколько показателей эффективности:

а) снижение расхода цемента до 12% или повышение прочности бетона в проектном возрасте до 25%;

б) улучшение технологических свойств бетонной смеси (удобукладываемость, однородность, нерасслаиваемость и др.);

в) регулируемость потери подвижности бетонной смеси во времени, скорости процессов схватывания, твердения, тепловыделения;

г) сокращение продолжительности тепловлажностной обработки изделий до 40%, ускорение сроков распалубливания и загрузки монолитных конструкций;

д) придание уложенному бетону способности твердения в зимнее время без обогрева или прогрева при охлаждении его до минус 25°C;

е) повышение морозостойкости бетона в 2–3 раза и более;

ж) повышение плотности и непроницаемости бетона на 1–2 марки;

з) повышение стойкости бетона и железобетона в различных агрессивных средах.

9.1.2. Методы оценки и определения эффективности химических добавок для бетона. Оптимальная дозировка добавки.

9.1.3. Определения отдельных классификационных групп добавок.

Пластифицирующие добавки – это вещества, обладающие поверхностно-активными свойствами, увеличивающие подвижность или удобоукладываемость бетонных смесей. Использование пластифицирующего эффекта добавок в технологии железобетонных конструкций позволяет существенно облегчить формирование изделий или, при сохранении неизменной подвижности смеси, снизить ее водосодержание и за счет этого уменьшить пористость, повысить плотность, прочность и некоторые другие характеристики бетона.

Стабилизирующие добавки – вещества, способствующие снижению расслаиваемости бетонной смеси.

Водоудерживающие добавки – вещества, способствующие снижению водоотделения бетонной смеси.

Воздухововлекающие добавки – поверхностно-активные вещества, способствующие вовлечению в бетонную смесь при ее перемешивании мелкодисперсного воздуха, равномерно распределенного в бетоне.

Пенообразующие добавки – поверхностно-активные вещества, обеспечивающие возможность получения технической пены требуемых кратности и стойкости, которые при смешении с компонентами бетонной смеси позволяют получать бетоны ячеистой или поризованной структуры.

Поризующие добавки – вещества, способствующие целенаправленному образованию в теле бетона воздушных или других газообразных пор.

Добавки, регулирующие твердение бетона (ускорители и замедлители твердения) – вещества, изменяющие кинетику набора прочности бетона в заданном направлении. Введение ускорителей твердения

дает возможность получать бетон требуемой прочности в более короткие сроки, а иногда и с более высокой конечной прочностью.

Добавки, повышающие плотность бетона, его водонепроницаемость и морозостойкость, а в определенных случаях и химическую стойкость в различных агрессивных средах – вещества, снижающие водосодержание бетонных смесей, способствующие удалению воздуха и кольматации пор (водоредуцирующие и кольматирующие добавки).

Добавки, повышающие защитные свойства арматуры (ингибиторы и пассиваторы коррозии арматуры) – вещества, обеспечивающие высокую коррозионную стойкость арматуры в агрессивных по отношению к ней средах.

Добавки, регулирующие сроки схватывания – вещества, ускоряющие или замедляющие процессы структурообразования бетонной смеси.

Противоморозные добавки – вещества, понижающие температуру замерзания воды и способствующие твердению бетона при отрицательной температуре.

Гидрофобизирующие добавки – вещества, придающие стенкам пор и капилляров в бетоне гидрофобные (водоотталкивающие) свойства.

9.2. Добавки-пластификаторы бетонных смесей. Классификация их по категориям

9.2.1. Суперпластификаторы. Классификация и механизм действия.

9.2.2. Основные виды суперпластификаторов, их характеристика и назначение.

9.2.3. Свойства бетонных смесей и бетонов, модифицированных суперпластификаторами. Подвижность и водопотребность бетонных смесей. Водоотделение и расслаиваемость. Долговечность бетонов, модифицированных суперпластификаторами.

9.2.4. Основные области применения суперпластификаторов.

9.2.5. Определение эффективности пластифицирующих добавок.

9.3. Добавки, регулирующие скорость твердения бетона

9.3.1. Добавки – замедлители схватывания и твердения.

9.3.2. Добавки – ускорители схватывания цемента и твердения бетона.

9.3.3. Определение эффективности добавок, регулирующих скорость твердения бетона.

9.3.4. Добавки, повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре. *Анодные ингибиторы. Катодные ингибиторы. Смешанные ингибиторы. Химический состав.*

9.3.5. Противоморозные добавки.

9.4. Добавки – регуляторы структуры бетона. Виды добавок и особенности их применения

9.4.1. Пластифицирующе-воздухововлекающие добавки.

9.4.2. Воздухововлекающие, газообразующие и гидрофобизирующие добавки. *Воздухововлекающие добавки. Виды воздухововлекающих добавок. Влияние воздухововлекающих добавок на свойства бетонных смесей. Газообразующие и гидрофобизирующие добавки. Гидрофобизирующие добавки.*

9.4.3. Определение эффективности газообразующих, гидрофобизирующих и воздухововлекающих добавок.

9.4.5. Добавки для уплотнения структуры бетона. Виды добавок, их основное назначение.

9.5. Комплексные добавки различного назначения. Виды добавок и особенности их применения

9.6. Выбор вида добавок и назначение их дозировок

Выбор вида добавок: для сокращения времени тепловой обработки; экономии цемента в бетонах; бетонов, к которым предъявляются повышенные требования по долговечности, независимо от величины эффекта по экономии цемента; повышения прочности бетона; повышения плотности бетона и его непроницаемости; повышения морозостойкости; получения бетонной смеси с требуемыми реологическими свойствами; замедления схватывания; повышения связности; уменьшения жесткости бетонной смеси; получения литых бетонных смесей; ускорения схватывания бетонной смеси; повышения удобоукладываемости бетонной смеси или снижения расхода цемента; повышения водонепроницаемости бетона; обеспечения твердения бетона при отрицательных температурах (противоморозные); обеспечения эффективного твердения бетона в условиях тепловой обработки; получения расширяющихся составов на основе портландцементов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ТЕСТИРОВАНИЮ

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ К РАЗДЕЛУ 1

1. На какие группы по происхождению делятся строительные вяжущие вещества?
2. Как подразделяются строительные смеси в зависимости от их состава?
3. Как классифицируют вяжущие вещества по механизму твердения?
4. Какие порошкообразные материалы относят к гидравлическим вяжущим веществам?
5. Какие сыпучие материалы относят к воздушным вяжущим веществам?
6. В чем принципиальное отличие между гидравлическими и воздушными вяжущими веществами?
7. При какой температуре производится обжиг портландцементного клинкера?
8. Какие минералы являются главными составляющими портландцементного клинкера?
9. Укажите диапазон содержания трехкальциевого силиката (твердый раствор носит название алит) в портландцементном клинкере.
10. Какие примесные минералы могут быть представлены в портландцементном клинкере?
11. Основные сырьевые компоненты для получения портландцементного клинкера.
12. Перечислите основные физико-химические свойства вяжущих веществ.
13. Из каких стадий состоит процесс гидратационного твердения вяжущих веществ?
14. Каким образом можно ускорить процесс гидратационного твердения вяжущих веществ?
15. Какие структуры образуются в процессе твердения вяжущих веществ (по П. А. Ребиндеру)?
16. От каких факторов зависит прочность вяжущего материала?
17. Как влияет процесс перекристаллизации на прочность материала?
18. За счет каких сил возникают коагуляционные структуры?

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ К РАЗДЕЛУ 2

1. Чем определяется химическая активность минералов портландцементного клинкера по отношению к воде и растворенным в ней солям?
2. Что следует понимать под вяжущими свойствами в процессе работы дисперсной системы (цементного теста)?
3. Какие типичные реакции характерны для твердения портландцемента и других вяжущих веществ?
4. Какие соединения являются продуктами гидратации трехкальциевого силиката?
5. Какие соединения являются продуктами гидратации двухкальциевого силиката?
6. Фаза двукальциевого силиката гидратируется медленнее или быстрее, чем фаза трехкальциевого силиката?
7. В чем различия между фазами C-S-H (I) и C-S-H (II)?
8. Каким отношением C/S характеризуются гидросиликаты кальция, образующиеся из β -C₂S и C₃S?
9. На какой стадии твердения портландцемента заметно влияние C₃A?
10. Какие соединения являются продуктами гидратации трехкальциевого алюмината?
11. Почему при нормальных условиях гидратации камень из C₃A дает меньшую прочность, чем из силикатных фаз?
12. Чем в портландцементе контролируется схватывание и снимается «ложное схватывание»?
13. Какие соединения являются продуктами гидратации портландцемента?
14. Какова роль фаз AF-3, AF-1 в зрелом цементном камне?
15. Какие дефекты содержат поверхностные слои клинкерных минералов?
16. Через сколько стадий проходит процесс гидратации C₃S?
17. Чем объясняется замедление гидратации C₃A в присутствии гипса?
18. Сколько типов гидросиликатов кальция образуется при твердении портландцемента?

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ К РАЗДЕЛУ 3

1. Что понимают под структурой цементного камня?
2. Назовите три типа структуры цементного камня.
3. За счет чего происходит образование конденсационной структуры цементного камня?
4. За счет чего происходит образование кристаллизационной структуры цементного камня?
5. Какие факторы влияют на прочностные свойства развивающейся структуры цементного камня?
6. Какие процессы ответственны за возникновение прочностных свойств развивающейся структуры цементного камня?
7. Наибольшей прочностью кристаллов характеризуются низкоосновные или высокоосновные гидросиликаты кальция?
8. Какие закономерные сростки образуются при сильном пересыщении в начальный период гидратации?
9. Необходимое условие для реализации высокой прочности кристаллов.
10. Каков основной объем пор в цементном камне суточного возраста?
11. Почему к 28 суткам твердения количество пор радиусом 100–1000 Å снижается?
12. Укажите размеры микропор и макропор в структуре цементного камня.
13. За счет чего осуществляется регулирование сроков схватывания портландцемента?
14. Какие факторы определяют схватывание портландцемента?
15. Дать определения понятиям: мгновенное схватывание, нормальное схватывание, ложное схватывание.
16. Что способствует ложному схватыванию?
17. Представьте классификацию основных факторов, обуславливающих прочностные и деформативные свойства, а также долговечность цементного камня.
18. Чем обусловлена конечная прочность затвердевшего цементного теста при длительной гидратации?
19. Почему капиллярные поры играют отрицательную роль в структуре цементного камня?
20. Какие поры повышают морозостойкость цементного камня?
21. Почему попеременное увлажнение и высушивание при эксплуатации цементных систем ведет к разрушению структуры?
22. Какие виды цементов обладают наибольшей усадкой?
23. В каких пределах находится усадка цементного камня?

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ К РАЗДЕЛУ 4

1. Основные группы гипсовых вяжущих веществ.
2. Основные отличия α - и β -полугидратов сульфата кальция.
3. Основные положения теории твердения гипсовых вяжущих веществ по теории А. Ле Шателье.
4. Основные положения теории твердения гипсовых вяжущих веществ по теории В. Михаэлиса.
5. Основные положения теории твердения гипсовых вяжущих веществ по теории А. А. Байкова.
6. Каким образом можно ускорить процесс нарастания прочности неводостойких гипсовых вяжущих?
7. Какие активизаторы используются для интенсификации твердения ангидритового вяжущего?
8. Чем обусловлено твердение ангидритового вяжущего под воздействием активизаторов?
9. Какие из гипсовых вяжущих веществ являются быстросхватывающимися?
10. Назовите основные виды водостойких гипсовых вяжущих.
11. Что лежит в основе твердения гипсоцементно-пуццолановых и гипсоцементно-шлако-пуццолановых вяжущих по теории А. В. Волженского?
12. Зачем в состав гипсоцементно-пуццолановых и гипсоцементно-шлако-пуццолановых вяжущих вводится активная минеральная добавка?
13. Назовите основные продукты гидратации гипсоцементно-пуццолановых и гипсоцементно-шлако-пуццолановых вяжущих.
14. Как влияет использование различных модификаций сульфата кальция на характер новообразований при твердении гипсоцементно-пуццолановых и гипсоцементно-шлако-пуццолановых вяжущих?
15. Что является одной из основных причин более низкой прочности фосфогипсового вяжущего?
16. Перечислите и изобразите схемы срастания кристаллов дву-гидрата.
17. К чему приводит перекристаллизация и укрупнение кристаллов двугидрата сульфата кальция?
18. Что является основной причиной отличия физико-механических свойств водостойких и неводостойких гипсовых вяжущих?

19. Какие факторы влияют на сроки схватывания и твердения гипсовых вяжущих веществ?
20. Представьте классификацию добавок по механизму их действия на гипсовое тесто.
21. Назовите основные виды воздушной извести.
22. Перечислите три типа твердения извести.
23. Основные положения гидратного твердения извести.
24. Основные положения карбонатного твердения извести.
25. Основные положения гидросиликатного твердения известково-кремнеземистых вяжущих.
26. Из каких стадий состоит автоклавная обработка процесса запаривания известково-кремнеземистых вяжущих?
27. Перечислите основные продукты, образующиеся при гидросиликатном твердении известково-кремнеземистых вяжущих.
28. Запишите химическую формулу низкоосновного гидросиликата кальция – тоберморита.
29. Почему процесс гидратации порошка MgO в воде происходит чрезвычайно медленно?
30. Назовите и запишите основные продукты гидратации магний-хлоридного цемента (Сореля).
31. Какие затворители используются для магнезиальных вяжущих?
32. Назовите наиболее стабильную составляющую магнезиального камня затворенного хлоридом магния, обеспечивающую ему прочность и стойкость к растрескиванию.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ К РАЗДЕЛУ 5

1. Доменные шлаки и их роль при твердении шлаковых цементов.
2. Назовите методы грануляции доменных шлаков.
3. Укажите минералогический состав доменного гранулированного шлака.
4. Основные качественные характеристики доменных шлаков.
5. Запишите формулы по которым определяется оценка гидравлических свойств доменного гранулированного шлака.
6. Приведите типичный химический состав доменного шлака.
7. Основные продукты, образующиеся при твердении шлакопортландцемента.

8. Для чего вводят активные минеральные добавки в состав цементов?
9. Какие активные минеральные добавки осадочного происхождения используются в составе цементов?
10. Какие активные минеральные добавки вулканического происхождения используются в составе цементов?
11. Приведите типичный химический состав активных минеральных добавок осадочного и вулканического происхождения.
12. Основные продукты, образующиеся при твердении пуццоланового портландцемента.
13. Основные виды золошлаковых отходов ТЭС.
14. Основные физические характеристики зол.
15. Запишите формулу для определения модуля основности зол.
16. Классификация зол по дисперсности.
17. Чем определяется морфология зол-уноса?
18. Цементы и бетоны с содержанием микрокремнезема.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ К РАЗДЕЛУ 6

1. Укажите и запишите преобладающие кристаллические фазы алюминатного (глиноземистого) цемента.
2. Запишите реакцию гидратации однокальциевого алюмината.
3. Чем обусловлена причина снижения прочности бетона на глиноземистом цементе при температуре выше 30°C?
4. Изобразите схему перехода гексагонального гидроалюмината кальция в кубический трехкальциевый гидроалюминат.
5. Изобразите схему карбонизации кубического трехкальциевого гидроалюмината.
6. Перечислите основные группы расширяющиеся цементы.
7. Основные положения гипотезы Лосье-Люфума о физико-химической природе расширяемости цементов.
8. Основные положения гипотезы П. П. Будникова и И. В. Кравченко о физико-химической природе расширяемости цементов.
9. Основные положения гипотезы Шассевана и Штинглица о физико-химической природе расширяемости цементов.
10. Гипотеза, объясняющая расширение действием осмотических сил.
11. Основные положения «сольватной» гипотезы Г. Н. Сиверцева о физико-химической природе расширяемости цементов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ К РАЗДЕЛУ 7

1. На какие группы подразделяются цементы по эффективности использования при пропаривании?
2. Как влияет тепловлажностная обработка портландцемента на его прочность?
3. Укажите общепринятый режим пропаривания для портландцемента и шлакопортландцемента.
4. Как влияет тепловлажностная обработка на прочность камня из основных клинкерных минералов?
5. Приводит ли тепловлажностная обработка при температурах 80–90°С к существенным изменениям фазового состава продуктов гидратации портландцемента, твердеющего после обработки в нормальных условиях, по сравнению с образцами нормального твердения?
6. Почему в цементах, подвергаемых пропариванию, важно иметь рациональное содержание гипса?
7. Какие противоположные процессы наблюдаются при тепловлажностной обработке?
8. Укажите параметры тепловлажностной обработки цементов при повышенном давлении водяного пара (запаривание).
9. Какие условия принято считать стандартными при испытании цемента?
10. Влияние отрицательной температуры на состав новообразований при гидратации цементного камня.
11. Механизм разрушения структуры бетона при замораживании.
12. Что является главной причиной нарушения структуры незатвердевшего бетона под воздействием отрицательных температур?
13. Какие места концентрации льда являются самыми опасными при замораживании свежего бетона?
14. Назовите основные стадии разрушения структуры бетона при замораживании.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ К РАЗДЕЛУ 8

1. Перечислите факторы коррозионного воздействия.
2. От чего зависит скорость коррозии цементного камня и бетона?

3. Чем определяются прочность и долговечность затвердевших вяжущих материалов?
4. Какие ионы и соединения играют основную роль в химизме процессов коррозии бетона?
5. Дайте определение коррозии 1 вида, основанной на преобладании процессов определенного вида.
6. Дайте определение коррозии 2 вида, основанной на преобладании процессов определенного вида.
7. Дайте определение коррозии 3 вида, основанной на преобладании процессов определенного вида.
8. Перечислите основные условия, приводящие к возникновению солевой физической коррозии.
9. Причины возникновения коррозии выщелачивания.
10. Причины возникновения кислотной коррозии.
11. Виды сульфатной коррозии.
12. Представьте схему сульфатоалюминатной коррозии.
13. Причины возникновения магниезальной коррозии.
14. Методы защиты от коррозии вяжущих материалов.
15. Какой из клинкерных минералов более устойчив против сульфатной коррозии: трехкальциевый алюминат или четырехкальциевый алюмоферрит?
16. Влияние минералогического состава клинкера и выбор вяжущего на коррозионную стойкость бетона.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ К РАЗДЕЛУ 9

1. Классификация химических добавок для модифицирования свойств бетонов и растворов в зависимости от основного эффекта.
2. Дайте характеристику первой группе добавок, регулирующих свойства готовых к употреблению бетонных и растворных смесей.
3. Дайте характеристику второй группе добавок, изменяющих свойства бетонов и растворов.
4. Дайте характеристику третьей группе добавок, придающих бетонам и растворам специальные свойства.
5. Перечислите показатели эффективности, которые достигаются при введении в бетонную смесь химических добавок в виде отдельных продуктов или их сочетаний.

6. Укажите основные этапы оценки показателей эффективности действия добавок.
7. Соблюдение каких условий необходимо при оценке эффективности добавок?
8. Перечислите основные классификационные группы добавок.
9. Классификация пластифицирующих добавок по величине пластифицирующего эффекта.
10. Суперпластификаторы. Классификация и механизм действия.
11. Перечислите основные виды суперпластификаторов. Их характеристика и назначение.
12. Свойства бетонных смесей и бетонов, модифицированных суперпластификаторами.
13. Укажите основные области применения суперпластификаторов.
14. Как оценивают эффективность пластифицирующей добавки?
15. Добавки – замедлители схватывания и твердения, их характеристика и назначение.
16. Добавки – ускорители схватывания и твердения, их характеристика и назначение.
17. Определение эффективности добавок, регулирующих скорость твердения бетона.
18. Добавки, повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре, их характеристика и назначение.
19. Укажите факторы, влияющие на замедление коррозии.
20. Противоморозные добавки, их характеристика и назначение.
21. Влияние противоморозных добавок на свойства бетонной смеси и бетонов.
22. Приготовление, транспортирование и укладка бетонной смеси с противоморозными добавками.
23. Выдерживание бетонной смеси с противоморозными добавками и уход за ними.
24. Какие имеются ограничения при применении противоморозных добавок?
25. Как определяют эффективность противоморозной добавки?
26. Пластифицирующе-воздухововлекающие добавки, их характеристика и назначение.
27. Воздухововлекающие добавки, их характеристика и назначение.
28. Перечислите основные виды воздухововлекающих добавок.
29. Влияние воздухововлекающих добавок на свойства бетонной смеси.

30. Какое влияние оказывает воздухововлечение на отделочные операции?

31. Гидрофобизирующие добавки, их характеристика и назначение.

32. Как определяют эффективность газообразующих, гидрофобизирующих и воздухововлекающих добавок?

33. Добавки для уплотнения структуры бетона. Виды добавок, их основное назначение.

34. Комплексные добавки различного назначения. Виды добавок и особенности их применения.

35. Правила выбора добавок и назначение их дозировок.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

1. Понятие о вяжущих веществах. Классификация вяжущих веществ по условиям проявления основных свойств.
2. Микрокремнезем: свойства, реакции гидратации. Цементы и бетоны с микрокремнеземом и его влияние на процессы твердения.
3. Физико-химические свойства вяжущих веществ: дисперсность, пластичность, способность к твердению (теории твердения).
4. Природные пуццоланы: свойства; реакции гидратации и их роль при твердении пуццолановых цементов.
5. Реакционная способность клинкерных фаз. Кинетика твердения вяжущих веществ. Растворимость вяжущих. Характер связи в новообразованиях.
6. Добавки, повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре.
7. Природа вяжущих свойств портландцемента. Продукты гидратации. Элементарный акт взаимодействия цемента с водой.
8. Алюминатные цементы: химический и минералогический состав; реакционная способность фаз; реакции и продукты гидратации; развитие микроструктуры; твердение; влияние перекристаллизации.
9. Механизм гидратации и цементирующего действия вяжущих для паст $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$: микроструктура, структура силикатного аниона, рентгенограммы, плотности и другие данные.
10. Расширяющие цементы: общие понятия; виды расширяющих цементов; механизм расширения цементов типа *K*.
11. Механизм гидратации и цементирующего действия вяжущих для паст $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$: микроструктура, структура силикатного аниона, рентгенограммы, плотности и другие данные.
12. Физико-химическая природа расширяемости цементов (гипотезы расширения).
13. Механизм гидратации и цементирующего действия вяжущих для паст $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и ферритной фазы: микроструктура, рентгенограммы, плотности и другие данные.
14. Механизм расширения цементного камня в процессе твердения расширяющихся цементов.
15. Механизм гидратации цемента: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (экспериментальные данные, начальная стадия реакции, индукционный период, главная реакция).

16. Добавки – ускорители схватывания цемента и твердения бетона.
17. Механизм гидратации цемента: реакция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ с водой или с водой в присутствии сульфата кальция.
18. Добавки – пластификаторы бетонных смесей. Классификация их по категориям.
19. Этапы формирования прочной кристаллизационной структуры цементного камня. Прочность кристаллов гидратных фаз и их сростков. Морфология кристаллов.
20. Водопонижающие добавки и суперпластификаторы: способ действия водопонижающих добавок и суперпластификаторов; причины увеличения деспергирующей способности суперпластификаторов.
21. Поровое пространство в цементном камне. Влияние В/Ц-отношения на структуру порового пространства.
22. Добавки, регулирующие скорость твердения бетона.
23. Схватывание портландцемента: мгновенное схватывание, нормальное схватывание, ложное схватывание.
24. Автоклавная обработка цементов. Характеристики гидросиликата кальция, образованного в гидротермальных условиях.
25. Влияние структуры цементного камня на его свойства.
26. Влияние пропаривания на процессы гидратации и твердения цемента. Группы цементов по эффективности использования при пропаривании.
27. Виды золошлаковых отходов ТЭС: классификация зол-уноса. Морфология зол-уноса.
28. Твердение воздушной извести: гидросиликатное.
29. Твердение портландцемента при отрицательных температурах.
30. Теоретические основы твердения гипсовых вяжущих веществ: теории твердения гипсовых вяжущих веществ.
31. Механизм разрушения структуры бетона при замораживании.
32. Твердение водостойких гипсовых вяжущих веществ (гипсоцементно-пуццолановые и гипсоцементношлако-пуццолановые). Особенности твердения гипсовых вяжущих веществ из гипсосодержащих отходов.
33. Механизм расширения цементного камня в процессе твердения расширяющихся цементов.
34. Структура затвердевших неводостойких и водостойких гипсовых вяжущих веществ и ее влияние на прочность, деформативность и долговечность.
35. Доменный шлак: образование, обработка и использование в композиционных цементах; факторы, влияющие на пригодность шлака

для использования в композиционных цементах; микроструктура шлаков, внутренняя структура шлаковых стекол.

36. Твердение воздушной извести: карбонатное, гидратное.

37. Поровая структура. Прочность (зависимости между пределом прочности при сжатии и пористостью, между прочностью и микроструктурой и распределением пор).

38. Твердение шлакопортландцемента. Химия гидратации шлаковых цементах: стехиометрия гидратации шлаковых цементах; активация шлаковых цементах; сверхсульфатированные цементы.

39. Зола-унос: свойства; факторы, определяющие пригодность золы уноса для композиционных цементов; скорость расходования клинкерных фаз и золы уноса и содержание гидроксида кальция; микроструктура и состав продуктов гидратации; природа пуццолановых реакций; стехиометрия гидратации золоцементов.

40. Комплексные добавки различного назначения. Виды добавок и особенности их применения.

41. Коррозия вяжущих материалов: факторы коррозионного воздействия, типы коррозионных процессов.

42. Общая характеристика и классификация химических добавок для бетона.

43. Сульфатная коррозия: общие понятия; сульфат кальция; сульфат магния; влияние свойств бетона и типа цемента; композиционные цементы и сульфатостойкость; реакции с участием сульфатов и карбонатов.

44. Добавки – регуляторы структуры бетона. Виды добавок и особенности их применения.

45. Химическая коррозия под действием органических веществ; коррозия под действием газов; коррозия, вызываемая щелочами.

46. Газообразующие и гидрофобизирующие добавки в бетоны.

47. Методы защиты от коррозии вяжущих материалов.

48. Добавки для уплотнения структуры бетона. Виды добавок, их основное назначение.

48. Методы оценки и определения эффективности химических добавок для бетона.

49. Гидратация и твердение магниевых вяжущих веществ: затворители для магниевых вяжущих, продукты гидратации, регулирование процесса твердения, условия и скорость гидратации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перепелицын, В. А. Основы технической минералогии и петрографии / В. А. Перепелицын – М.: Недра, 1987. – 255 с.
2. Тейлор, Х. Химия цемента: пер с англ. / Х.Темлор. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
3. Мчедлов-Петросян, О. П. Химия неорганических строительных материалов / О. П. Мчедлов-Петросян. – М.: Стройиздат, 1988. – 304 с.
4. Бутт, Ю. М. Химическая технология вяжущих материалов / Ю. М. Бутт, М. М. Сычев, В. В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.
5. Брыков, А. С. Гидратация портландцемента / А. С. Брыков. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2008. – 30 с.
6. Рачмадран, В. С. Добавки в бетон: справочное пособие / В. С. Рачмадран, Р.Ф. Фельдман; пер. с англ. Т. И. Розенберга, В. Б. Ратинова. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
7. Глекель, Л. Ф. Регулирование гидратационного структурообразования поверхностно-активными веществами / Л. Ф. Глекель, Р. З. Копп, К. С. Ахмедов. – Ташкент: Фан, УзССР, 1986. – 224 с.
8. Кузнецова, Т. В. Физическая химия вяжущих материалов / Т. В. Кузнецова, И. В. Кудряшов, В. В. Тимошев. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
9. Крамар, Л. Я. О требованиях стандарта к магнезиальному вяжущему строительного назначения // Строит. материалы. – 2006. – № 1. – С. 54–56.
10. Касторных, Л. И. Добавки в бетоны и строительные растворы. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 221 с.
11. Теория цемента / под ред. А. А. Пащенко. – Киев: Будівельник, 1991. – 168 с.
12. Мечай, А. А. Гидролиз и твердение минеральных вяжущих веществ: учеб.-метод. пособие / А. А. Мечай, О. Е. Хотянович, А. А. Сакович. – Минск: БГТУ, 2012. – 72 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Программа и методические указания по изучению курса.....	5
Контрольные вопросы и задания для подготовки к тестированию.....	29
Контрольные вопросы для подготовки к экзамену... ..	39
Литература	42

ГИДРОЛИЗ И ТВЕРДЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

Программа, методические указания
и контрольные задания

Составитель **Сакович** Андрей Андреевич

Редактор *М. Д. Панкевич*
Компьютерная верстка *Я. Ч. Болбот*
Корректор *М. Д. Панкевич*

Издатель:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.