

### 11.4.2.1. Научно – образовательные материалы по теме

## «ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

### *Содержание*

#### ***Лекция 1.***

Известь и строительный гипс: структура и свойства.

#### ***Лекция 2.***

Портландцемент. Структура и свойства. Теория твердения.

#### ***Лекция 3.***

Классификация бетонов. Состав бетонной смеси. Требования к компонентам состава. Структура и свойства бетона.

#### ***Лекция 4.***

Марки и классы бетона.

#### ***Лекция 5.***

Полимерные строительные материалы. Области применения.

#### ***Лекция 6.***

Теплоизоляционные строительные материалы. Области применения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Микульский В.Г., Сахаров Г.П. и др. Строительные материалы (Материаловедение. Технология конструкционных материалов). – М.: Издательство АСВ, 2007. – 520 с.
2. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы и изделия. – М.: Высшая школа, 2008. – 440 с.
3. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов. – М.: Высшая школа, 2004. – 287 с.

Лекция № 1.

Известь и строительный гипс: структура и свойства.

Известь

Известь известна человеку не одно тысячелетие и все это время активно используется им в строительстве и многих других отраслях. Это объясняется доступностью сырья, простой технологией и достаточно хорошими свойствами извести.

Сырьем для получения извести служат широко распространенные осадочные горные породы: известняки, мел, доломит, состоящие преимущественно из карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ). Если куски таких пород прокалить на огне, то карбонат кальция перейдет в оксид кальция:

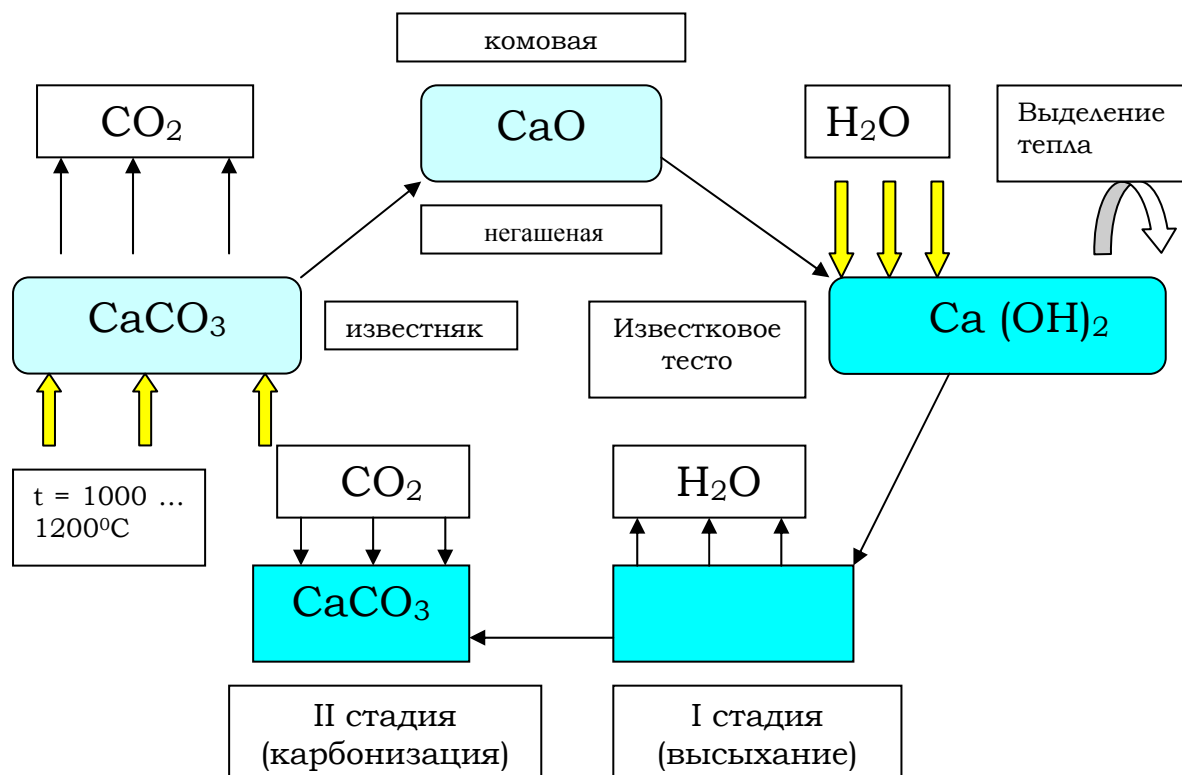


Рис.1. Получение, гашение и твердение воздушной извести.

После прокаливании куски, теряя с углекислым газом 44% своей массы, ста-

новится легким и пористым. При смачивании водой они бурно реагируют с ней, превращаясь в тонкий порошок, а при избытке воды в пластичное тесто. Этот процесс, сопровождающийся сильным выделением теплоты и разогревом воды вплоть до кипения, называется *гашением извести*. Образующееся при избытке взятой воды пластичное тесто используют в качестве вяжущего. При испарении воды тесто загустевает и переходит в каменеvidное состояние. Недостаток извести – медленное твердение: процесс набора прочности твердеющей известью растягивается на годы и десятилетия. В реальные сроки строительства прочность затвердевшей извести, как правило, не превышает 0,5 ... 2 МПа.

#### *Производство.*

Сырье – карбонатные породы (известняки, мел, доломиты), содержащие не более 6 ... 8 % глинистых примесей, обжигают в шахтных или вращающихся печах при температуре 1000 ... 1200 °С. В процессе обжига  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , содержащиеся в исходной породе, разлагаются на оксиды кальция  $\text{CaO}$  и магния  $\text{MgO}$  и углекислый газ. Неравномерность обжига может привести к образованию в извести недожога и пережога.

*Недожог* (неразложившейся  $\text{CaCO}_3$ ), получающейся при слишком низкой температуре обжига, снижает качество извести, так как не гасит и не обладает вяжущими свойствами.

*Пережог* образуется при слишком высокой температуре обжига в результате сплавления  $\text{CaO}$  с примесями керамзита и глинозема. Зерна пережога медленно гасят и могут вызывать растрескивание и разрушения уже затвердевшего материала.

Куски обожженной извести – комовая известь – обычно подвергают гашению водой:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 1160 \text{ кДж/кг}$

Выделяющаяся при гашении теплота резко повышает температуру извести и воды, которая может даже закипеть (поэтому негашеную известь называют *кипелкой*).

При гашении куски комовой извести увеличиваются в объеме и распадаются на мельчайшие (до 0,001 мм) частицы.

В зависимости от количества взятой для гашения воды получают: *гидратную известь – пушонку* (50 ...70 % воды от массы извести, т.е. в количестве, необходимом для протекания реакции гидратации – процесса гашения); известковое тесто (воды в 3 ... 4 раза больше, чем извести), известковое молоко (количество воды превышает теоретически необходимое в 8 ... 10 раз).

*Виды воздушной извести.*

По содержанию оксидов кальция и магния воздушная известь бывает:

- *Кальциевая* – MgO не более 5%;
- *Магниева* – MgO не более 5 ... 20%;
- *Доломитовая* – MgO не более 20 ... 40 %

По виду поставляемого на строительство продукта воздушную известь подразделяют на негашеную комовую (кипелку), негашеную порошкообразную (молотую кипелку) и гидратную (гашеную, или пушонку).

**Негашеная комовая известь** представляет собой мелкопористые куски размером 5 ... 10 см, получаемые обжигом известняка. В зависимости от содержания активных CaO + MgO и количества негасящихся зерен комовую известь разделяют на три сорта.

По скорости гашения комовая известь бывает:

Виды извести	Время достижения максимальной температуры, мин.
быстрогосящаяся	< 8
среднегоящаяся	8 ...25
медленногоящаяся	> 25

**Негашеную порошковую известь** получают помолом комовой в шаровых мельницах в тонкий порошок. Часто в известь во время помола вводят активные добавки (гранулированные доменные шлаки, золы ТЭС и т.п.) в количестве 10 ... 20% от массы извести. Порошкообразная известь, как и комовая, делится на три сорта.

Преимущество порошкообразной извести перед комовой состоит в том, что при затворении водой она ведет себя подобно гипсовым вяжущим: сначала образуется пластичное тесто, а через 20 ... 40 мин схватывается. Это объясняется тем, что вода затворения, образующая тесто, частично расходуется на гашении

известии. При этом известковое тесто густеет и теряет пластичность. Благодаря меньшему количеству свободной воды материалы на основе порошкообразной известии менее пористые и более прочные. Кроме того, известь при гашении разогревается, что облегчает работу с ней в холодное время.

При использовании порошкообразной известии воды берут 100 ... 150 % от массы известии в зависимости от качества известии и количества активных добавок в ней. Определяют количество воды опытным путем.

***Гидратная известь (пушонка)*** – тончайший белый порошок, получаемый гашением известии, обычно в заводских условиях, небольшим количеством воды (несколько выше теоретически необходимого). При гашении в пушонку известь увеличивается в объеме в 2 ... 2,5 раза. Насыпная плотность пушонки – 400 ... 450 кг/м<sup>3</sup>; влажность – не более 5%.

#### *Гашение известии.*

Воздушная известь – единственное вяжущее, которое превращается в тонкий порошок не только разломом, но и самопроизвольно путем гашения водой.

Колоссальная удельная поверхность частиц Ca(OH)<sub>2</sub> и их гидрофильность обуславливает большую водоудерживающую способность и пластичность известкового теста. После отстаивания известковое тесто содержит около 50% твердых частиц и 50% воды. Каждая частица окружена тонким слоем адсорбированной воды, играющей роль своеобразной смазки, что обеспечивает высокую пластичность известкового теста и смесей с использованием известии.

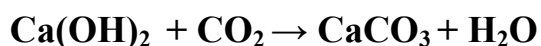
По окончании гашения жидкое известковое тесто через сетку сливают в известохранилище, где его выдерживают до тех пор, пока полностью не завершится процесс гашения (обычно не менее двух недель). Известковое тесто с размером непогасившихся зерен менее 0,6 можно применять сразу. Крупные непогасившиеся зерна опасны тем, что среди них могут быть пережженные зерна (пережог). Содержание воды в известковом тесте не нормируется. Обычно в хорошо выдержанном тесте соотношение воды и известии около 1:1.

#### *Твердение*

Известковое тесто состоит из насыщенного водного раствора Ca(OH)<sub>2</sub> и

мельчайших нерастворившихся частиц извести. По мере испарения из него воды образуется перенасыщенный раствор  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  из которого выпадают кристаллы, скрепляющие отдельные частицы в единый монолит. При этом происходит усадка твердеющей системы, которая в определенных условиях (например, при твердении известковой смеси на жестком основании – штукатурный слой) может вызвать растрескивание материала. Поэтому известь всегда применяют с заполнителями (например, известково – песчаные растворы) или в смеси с другими вяжущими для придания материалу пластичности. Известковое тесто, защищенное от высыхания, неограниченно долго сохраняет пластичность, т.е. у извести отсутствует процесс схватывания. Затвердевшее известковое тесто при увлажнении вновь переходит в пластичное состояние (известь – неводостойкий материал).

Однако при длительном твердении (десятилетия) известь приобретает довольно высокую прочность и относительную водостойкость (например, в кладке старых зданий). Это объясняется тем, что на воздухе известь реагирует с углекислым газом, образуя нерастворимый в воде и довольно прочный карбонат кальция, т.е. как бы обратно переходит в известняк:



Процесс этот очень длительный, и полной карбонизации извести практически не происходит, хотя поверхностная карбонизация протекает достаточно быстро.

Существует мнение, что при длительном контакте извести с кварцевым песком в присутствии влаги между этими компонентами происходит взаимодействие с образованием контактного слоя из гидросиликатов. Это так же повышает прочность и водостойкость бетонов и кирпичной кладки на извести, имеющих возраст более 200 ... 300 лет.

#### *Применение.*

Воздушную известь применяют для приготовления кладочных и штукатурных растворов как самостоятельное вяжущее, так и в смеси с цементом; при производстве силикатного кирпича и силикатобетонных изделий; для получе-

ния смешанных вяжущих (известково – шлаковых, известково – зольных и др.) и для красок.

### *Гипсовые вяжущие*

Гипсовые вяжущие – группа воздушных вяжущих веществ, а затвердевшем состоянии состоящих из двухводного сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), включает в себя собственно гипсовые вяжущие (далее – гипс) и ангидритовые вяжущие (ангидритовый цемент и эстрихгипс).

*Гипс* (в строительной практике иногда используют устаревший термин *алебастр* – от греч. *alabastrós* – белый) – быстротвердеющее воздушное вяжущее, состоящее из полуводного сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , получаемого низкотемпературной ( $<200^\circ\text{C}$ ) термообработкой гипсового сырья.

Сырьем для гипса служит в основном природный гипсовый камень, состоящий из двухводного сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) и различных примесей (глины и др.). В качестве сырья могут использоваться также гипсосодержащие промышленные отходы, например, фосфогипс, а так же сульфат кальция, образующийся при химической очистке дымовых газов от оксидов серы с помощью известняка. Все это указывает на то, что проблем с сырьем для гипсовых нет.

### *Получение гипса*

Включает две операции:

- Термообработку гипсового камня на воздухе при  $150 \dots 160^\circ\text{C}$ ; при этом он теряет часть химически связанной воды, превращаясь в полуводный сульфат кальция  $\beta$ -модификации  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{H}_2\text{O}$
- Тонкий размол продукта, который можно производить как до, так и после термообработки; гипс – мягкий минерал (твердость по шкале Мооса – 2), поэтому разламывается очень легко.

Таким способом производится основное количество гипса; обычно для этого используют гипсоварочные котлы. Гипс  $\beta$  – модификации далее для краткости просто «гипс».

Доступность сырья, простота технологии и низкая энергоемкость производства (в 4 ... 5 раз меньше, чем для получения портландцемента) делают гипс

дешевым и перспективным вяжущим.

### *Твердение гипса.*

Химизм твердения гипса заключается в переходе полуводного сульфата кальция при затворении его водой в двуводный:



Внешне это выражается в превращении пластичного теста в твердую камнеподобную массу.

Причина такого поведения гипса заключается в том, что полуводный гипс растворяется в воде почти в 4 раза лучше, чем двуводный (растворимость соответственно 8 и 2 г/л в пересчете на  $\text{CaSO}_4$ ). При смешивании с водой полуводный гипс растворяется до образования насыщенного раствора и тут же гидратируется, образуя двугидрат, по отношению к которому раствор оказывается перенасыщенным. Кристаллы двуводного гипса выпадают в осадок, а полуводный гипс вновь начинает растворяться и т.д. В дальнейшем процесс может идти по пути непосредственной гидратации гипса в твердой фазе.

Конечная стадией твердения, заканчивающегося через 1 ... 2 ч, является образование кристаллического сростка из достаточно крупных кристаллов двуводного гипса. Часть объема этого сростка занимает вода (точнее, насыщенный раствор  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в воде), не вступившая во взаимодействие с гипсом. Если высушить затвердевший гипс, то прочность его заметно (в 1,5 ... 2 раза) повысится за счет дополнительной кристаллизации гипса из указанного выше раствора по местам контактов уже сформированных кристаллов. При повторном увлажнении процесс протекает в обратном порядке, и гипс теряет значительную часть прочности.

Причина присутствия свободной воды в только что затвердевшем гипсе объясняется тем, что для гидратации гипса в соответствии с уравнением химической реакции нужно около 20% воды от его массы, а для образования пластичного гипсового теста – 50 ... 60 % воды. После затвердевания такого теста (т.е. после завершения гидратации) в нем остается 30 ... 40% (от массы гипса) свободной



воды, что составляет около половины объема материала. Этот объем воды образует поры, временно занятые водой, а пористость материала, определяет многие его свойства (плотность, прочность, теплопроводность и др.).

Разница между количеством воды, необходимым для твердения вяжущего и для получения из него удобоформуемого теста, - основная проблема технологии материалов на основе минеральных вяжущих.

Для гипса проблема снижения водопотребности и, соответственно, снижения пористости и повышения прочности была решена путем получения гипса термообработкой не на воздухе, а в среде насыщенного пара (в автоклаве при давлении 0,3 ... 0,4 МПа) или в растворах солей ( $\text{CaCl}_2 \cdot \text{MgCl}_2$  и др.). В этих условиях образуется другая кристаллическая модификация полуводного гипса –  $\alpha$  – гипс, имеющая водопотребность 35 ... 40%.

Гипс  $\alpha$  – модификации называют высокопрочным гипсом, так как благодаря пониженной водопотребности он образует при твердении менее пористый и более прочный камень, чем обычный гипс  $\beta$  – модификации. Из-за трудностей производства высокопрочный гипс не нашел широкого применения в строительстве.

#### *Технические свойства гипса.*

Истинная плотность полуводного гипса – 2,65 ... 2,75 г/см<sup>3</sup> (двуводного – 2,32 г/см<sup>3</sup>); насыпная плотность полуводного гипса – 800 ... 1100 кг/м<sup>3</sup>.

По срокам схватывания, определяемым на приборе Вика, гипс делят на три группы (А, Б, В):

Вид гипса	Начало схватывания	Конец схватывания
быстротвердеющий	Не ранее 2 мин	Не позднее 15 мин
нормальнотвердеющий	Не ранее 6 мин	Не позднее 30 мин
медленнотвердеющий	Не ранее 20 мин	Не нормируется

Замедляют схватывание гипса добавкой столярного клея, сульфитноспиртовой барды (ССБ), технических лигносульфанатов (ЛСТ), кератинового замедлителя, а также борной кислоты, буры и полимерных дисперсий (например, ПВА).

Марку гипса определяют испытанием на сжатие и изгиб стандартных образ-

цов-призм 4×4×16 см спустя 2 ч после их формования. За это время гидратация и кристаллизация гипса заканчивается.

Установлено 12 марок гипса по прочности от Г – 2 до Г – 25 (цифра показывает нижнее значение предела прочности при сжатии данной марки гипса):

Предел прочности, МПа, не менее:	марка гипса											
	Г – 2	Г – 3	Г – 4	Г – 5	Г – 6	Г – 7	Г – 10	Г – 13	Г – 16	Г – 19	Г – 22	Г – 25
при сжатии	2	3	4	5	6	7	10	13	16	19	22	25
при изгибе	1,2	1,8	2	2,5	3	3,5	4,5	5,5	6	6,5	7	8

В строительстве используется в основном гипс марок от Г–4 до Г–7. По тонкости помола, определяемой максимальным остатком пробы гипса при просеивании на сите с отверстиями 0,2 мм, гипсовые вяжущие делят на три группы:

группа	I	II	III
Помол	грубый	средний	тонкий
Остаток на сите 0,2, %	23	14	2

Маркируют гипсовые вяжущие по всем трем показателям: скорости схватывания, тонкости помола и прочности.

Прочность затвердевшего гипсового камня низкая (1200...1500 кг/м<sup>3</sup>) из-за значительной пористости (60 ... 30 %, соответственно).

Гипсовое вяжущее – одно из немногих вяжущих, расширяющихся при твердении: увеличение в объеме достигает 0,2%. Эта особенность гипсовых вяжущих позволяет применять их без заполнителей, не боясь растрескивания от усадки, и использовать для снятия копий в формовочном деле.

При увлажнении затвердевший гипс не только существенно (в 2 ... 3 раза) снижает прочность, но и проявляет нежелательное свойство – ползучесть – медленное необратимое изменение размеров и формы под нагрузкой. Характер водной среды во влажном гипсе – нейтральный (pH = 6,5 ... 7,5), и она содержит ионы Ca<sup>+2</sup> и SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, поэтому стальная арматура в гипсе интенсивно корродирует. Увлажнению гипса способствует его гидроскоричность – способность поглощать влагу из воздуха.

Гипсовые материалы не только являются негорючими материалами, но в силу своей пористости замедляют передачу теплоты, а при действии высоких

температур в результате термической диссоциации выделяют воду, тем самым, тормозя распространение огня.

В сухих условиях эксплуатации или при предохранении от действия воды (гидрофобизирующие покрытия, пропитки и т.п.) гипс очень перспективное с технической и экологической точек зрения вяжущее.

#### *Область применения.*

Главнейшая область применения гипса – устройство перегородок. Они могут быть заводского изготовления в виде панелей «на комнату», из гипсовых камней или из гипсокартонных листов. Последние также широко используется для отделки стен и потолков. Гипсоволокнистые материалы используют как выравнивающий слой под чистые полы. Из гипса делают акустические плиты. В различных вариантах его применяют для огнезащитных покрытий металлических конструкций. Небольшое по объему, но важное направление использования гипса: декоративные архитектурные детали (лепнина) и скульптура.

Гипс используют для изготовления форм (например, для керамики) – формочный гипс.

## Лекция № 2.

### Портландцемент. Структура и свойства. Теория твердения.

#### *Портландцемент.*

Портландцемент – гидравлическое вяжущее, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера и небольшого количества гипса (1,5 ... 3%). Клинкер получают обжигом до спекания сырьевой смеси, обеспечивающей в портландцементе преобладание силикатов кальция. К клинкеру для замедления схватывания цемента добавляют гипс. Для улучшения некоторых свойств и снижения стоимости портландцемента допускается введение минеральных добавок.

#### *Производство.*

Основные операции при получении портландцемента: приготовление сырьевой смеси, обжиг ее до получения цементного клинкера и помол клинкера совместно с добавками. Соотношение компонентов сырьевой смеси выбирают с таким расчетом, чтобы полученный состав (%): CaO – 62... 68, SiO<sub>2</sub> – 18 ... 26, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4 ... 9, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2 ... 6.

Тщательно подготовленную сырьевую смесь подают на обжиг во вращающуюся печь, которая представляет собой стальную трубу диаметром до 7 м и длиной до 185 м. Максимальная t обжига 1450<sup>0</sup> С. При таких высоких температурах оксид кальция CaO, образовавшийся в результате разложения известняка, взаимодействует с кислотными оксидами SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, образующимися при разложении глины.

В состав портландцементного клинкера входят четыре основных минерала и небольшое количество стеклообразного вещества.

Минерал	формула	количество, %
трехкальциевый силикат (алит)	3CaO · SiO <sub>2</sub> (C <sub>3</sub> S)	42 ... 65
двухкальциевый силикат (белит)	2CaO · SiO <sub>2</sub> (C <sub>2</sub> S)	12 ... 35
трехкальциевый алюминат	3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (C <sub>3</sub> A)	4 ... 14
четырекальциевый алюмоферит	4CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 ... 18

При взаимодействии с влагой воздуха активность портландцемента падает,

поэтому его предохраняют от действия влаги. Портландцемент хранят в силосах (высоких цилиндрических емкостях из бетона и металла). На строительство его доставляют в специальных вагонах, автомобилях – цементовозах или полиэтиленовые мешки.

### *Твердение.*

При смешивании с водой частицы портландцемента начинают растворяться, причем одновременно может происходить гидролиз (разложение водой) и гидратация (присоединение воды) продуктов растворения с образованием гидратных соединений.

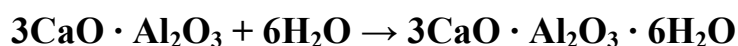
По этой схеме (гидролиз и гидратация) взаимодействует с водой главные компоненты клинкера алит  $C_3S$  и белит  $C_2S$ :



Необходимо подчеркнуть особенности этих реакций:

- $C_3S$  взаимодействует с водой намного активнее, чем  $C_2S$ ;
- При взаимодействии силикатов кальция с водой выделяется растворимый в воде компонент  $Ca(OH)_2$  – воздушная известь, создающая щелочную реакцию в твердеющем цементе;
- $C_3S$  выделяет  $Ca(OH)_2$  в 3 раза больше, чем  $C_2S$ ; общее количество  $Ca(OH)_2$  достигает 15% от массы цементного камня.

Алюминат кальция  $C_3A$  подвергается только гидратации, причем этот процесс идет очень быстро с образованием крупных кристаллов



Основной продукт твердения портландцемента – гидросиликаты кальция – не растворимы в воде. Они выпадают из раствора сначала в виде гели (жесткого студня). Этот гель пронизывают, укрепляя его, кристаллы  $Ca(OH)_2$ .

Процесс гидратации зерен портландцемента из-за малой их растворимости

растягивается на длительное время. Поэтому прочность цемента определяют в возрасте 28 суток.

#### *Технические характеристики.*

К основным характеристикам портландцемента относятся истинная и насыпная плотность, тонкость помола, сроки схватывания, равномерность изменения объема при твердении и прочность затвердевшего цементного камня.

*Плотность* зерен портландцемента в зависимости от вида и количества добавок составляет 2900 ... 3200 кг/м<sup>3</sup>; насыпная плотность в рыхлом состоянии 1000 ... 1100 кг/м<sup>3</sup>, в уплотненном – 1700 кг/м<sup>3</sup>.

*Тонкость помола* характеризуется количеством цемента, проходящим через сито с сеткой № 008 (размер отверстий 0,08 мм) и его удельной поверхностью. Согласно ГОСТу, через сито с сеткой № 008 должно проходить не менее 95% цемента. При этом удельная поверхность у обычного портландцемента в пределах 2000 ... 3000 см<sup>2</sup>/г, а у быстротвердеющего 3500 ... 5000 см<sup>2</sup>/г.

*Сроки схватывания* портландцемента, рассчитываемые от момента затворения, должны быть: начало – не ранее 45 мин; конец – не позднее 10 ч. Эти показатели определяют при температуре 20 °С. Если цемент затворяют горячей водой (более 40 °С), может произойти очень быстрое схватывание.

*Прочность* портландцемента характеризуется его маркой. Марку портландцемента определяют по пределу прочности при сжатии и изгибе образцов – балочек 40×40×160 мм, изготовленных из цементно – песчаного раствора (состав 1: 3) стандартной консистенции и твердевших 28 сут (первые сутки в формах на влажном воздухе и 27 сут в воде при 20 °С).

*Равномерность изменения объема.* При твердении цементное тесто уменьшается в объеме. Усадка на воздухе составляет до 2,5 мм/м. При твердении в воде немного набухает (до 0,5 мм/м).

### *Лекция № 3.*

#### **Классификация бетонов. Состав бетонной смеси. Требования к компонентам состава. Структура и свойства бетона.**

Бетон – один из основных строительных материалов. Это объясняется технологичностью его изготовления, экономичностью, доступностью компонентов состава. Заполнители и вода бетонной смеси составляют 85...90 % его объема, а вяжущее лишь 10...15 %. У бетона достаточно высокими физико-механическими свойствами. В обычном бетоне в качестве заполнителя используют местные материалы и техногенные отходы. Приготовление бетонной смеси малоэнергоёмкий и экологически безопасный процесс. Бетонная смесь подвижна, что позволяет формировать из нее изделия и конструкции любой конфигурации. Варьируя вид вяжущего и заполнителей, а также структуру, можно получать бетоны с разнообразными, требуемыми для конкретных задач свойствами.

С изобретением *портландцемента* применение бетона стало быстро расширяться. Этому способствовало начало производства *железобетона*. К концу XIX в. бетон завоевывает прочные позиции в строительстве.

К этому же времени относятся первые исследования в теории бетона. В 1895 г. И.Г. Малюга (Россия) установил зависимость между содержанием воды в бетонной смеси и прочностью бетона. В 1918 г. Д. Абрамс (США) установил количественные зависимости прочности бетона от водоцементного (В/Ц) отношения и подвижности бетонной смеси от ее состава. Научные основы проектирования состава бетона с заданными свойствами с использованием В/Ц были развиты советским ученым Н.М. Беляевым (СССР). Несколько позже И. Болломей (Швейцария) предложил вместо гиперболической зависимости прочности от В/Ц линейную от обратной величины – Ц/В. Уточнение этой зависимости для обычных и высокопрочных бетонов и расчет состава бетона по методу абсолютных объемов в 1965 г. предложил Б.Г.Скрамтаев. Этот метод используется и в настоящее время. В 30-х годах в технологию бетона вошел ме-

тод виброуплотнения, позволивший использовать жесткие бетонные смеси и получать бетоны высокой прочности.

В 30...50-х годах началось активное применение легких бетонов (керамзитобетона, шлакобетона, ячеистых бетонов и др.). Теория легких бетонов была разработана в 1933 г. Николаем Анатольевичем Поповым. Во второй половине XX века в СССР, а затем и во многих других странах мира широкое распространение получило заводское изготовление изделий и конструкций из железобетона для сборного строительства. Здесь важную роль сыграли легкие бетоны.

В это же время в технологию бетона вошли пластификаторы и суперпластификаторы позволявшие получать бетоны с высокими плотностью и прочностью, морозостойкостью и водонепроницаемостью из подвижных смесей с кратковременным виброуплотнением и даже без него.

Производство новых видов вяжущих и полимерных добавок, а также использование полимеров в роли вяжущих веществ существенно расширило номенклатуру бетонов: полимербетоны, *бетонополимеры*, безусадочные и расширяющиеся и др. К началу XXI в. мировой объем производства бетона различных видов достиг более 2 млрд. м<sup>3</sup> в год.

### **Классификация и области применения бетонов.**

Бетоны в зависимости от вида вяжущего различают:

на бетоны на неорганических вяжущих: *цементные* (основной вид бетона), *гипсобетоны*; *силикатные*, на жидком стекле, на магнезиальных вяжущих, серные;

на бетоны на органических вяжущих: *асфальтобетоны*, *полимербетоны* и на смешанном вяжущем: *полимерцементные* бетоны.

По структуре различают: бетоны слитного строения (с крупным заполнителем и мелкозернистые), *ячеистые* и *крупнопористые* (беспесчаные); возможны бетоны со смешанной структурой: слитного строения с поризованным цементным камнем.

Бетоны различают по виду заполнителя на бетоны на плотных, пористых,



специальных заполнителях.

Бетоны классифицируют по средней плотности:

- особо тяжелые с плотностью более 2500 в кг/м<sup>3</sup>;
- тяжелые (2200...2500 кг/м<sup>3</sup>);
- облегченные 1800...2200 кг/м<sup>3</sup>,
- легкие (600...1800 кг/м<sup>3</sup>);
- особо легкие (менее 600 кг/м<sup>3</sup>).

Особо тяжелые бетоны получают преимущественно на портландцементе с металлическими заполнителями (чугунная дробь, скрап, обрезки арматуры) или заполнителями из руд (лимонит, магнетит и т.п.). Основное назначение таких бетонов – защита от  $\gamma$  - излучения в радиационно-технических установках (реакторы АЭС и т.п.).

Тяжелый (обычный) бетон – наиболее распространенный вид бетона, применяемый для несущих конструкций гражданских и промышленных зданий, при строительстве автодорог, аэродромов, гидротехнических сооружений и т.п. В качестве заполнителей в тяжелом бетоне используют гравий и щебень из плотных горных пород (известняк, гранит, базальт и др.) и металлургических шлаков, природный кварцевый песок и пески из отходов камнеобработки и дробления шлаков. К тяжелым бетонам относятся также силикатные бетоны на плотных заполнителях. Основной показатель качества тяжелого бетона – прочность, а для бетона, работающего под воздействием влаги и отрицательных температур, – *морозостойкость*.

*Легкий бетон*, в основном получают, используя пористые заполнители природные (*пемза, туф*) и искусственные (*керамзит, шлаковая пемза* и др.) и обычный или пористый песок. В зависимости от вида заполнителя легкие бетоны называют керамзитобетоном, шлакобетоном, пемзобетоном и т.д. Для снижения плотности бетона применяют поризацию цементного камня газо- или пенообразователями. К легким бетонам относят конструктивно-теплоизоляционные ячеистые бетоны с плотностью 600...1200 кг/м<sup>3</sup>; в зависимости от метода поризации называемые газо- или пенобетонами. Легкие бетоны, глав-

ным образом, используют для ограждающих конструкций. Широко применяют легкие бетоны для заводского изготовления стеновых панелей, реже балок, перекрытий для снижения их массы. Для теплоизоляции получают бетоны на пористых заполнителях без песка – крупно-пористый бетон. Основные характеристики легких бетонов – прочность на сжатие (марка -М, класс - В, *МПа*) и средняя плотность (*D*, кг/м<sup>3</sup>).

Особо легкие бетоны – в основном ячеистые; благодаря высокой пористости имеют низкую теплопроводность и применяются для теплоизоляции. В виде мелкоштучных блоков и в монолитном варианте их применяют для заполнения каркаса зданий. К этой группе относятся также крупнопористые бетоны на полимерном связующем и пористых заполнителях. Основным показателем качества особо легких бетонов - средняя плотность; по ней назначается марка таких бетонов: D300; D400 и D500 (кг/м<sup>3</sup>). (*D* от англ. density – плотность).

В зависимости от метода изготовления различают монолитный и сборный бетон. Монолитный бетон с помощью *опалубки* формируют в рабочем положении непосредственно на стройке, где он и твердеет.

Сборный железобетон поступает на стройку в виде готовых конструкций и элементов, изготовленных на специализированных предприятиях.

По назначению бетоны могут быть конструкционные, конструкционно-теплоизоляционные и теплоизоляционные (в них в той или иной степени сочетаются прочностные и теплоизоляционные свойства).

Помимо этого, бетоны делятся по назначению: на гидротехнические, специальные, жаростойкие, защитные (от ионизирующих излучений), торкрет-бетоны, электропроводящие, кислотоупорные и др.

#### *Физико-технические характеристики бетонной смеси и бетона*

Расчет состава тяжелого бетона производится по прочности с использованием формулы «основного закона прочности» Болломея-Скрамтаева

$$R_b = A R_{ц} \cdot (Ц/В - 0,5),$$

которая связывает марочную прочность бетона –  $R_b$  с соотношением цемента

и воды (Ц/В) в смеси, маркой цемента  $R_{ц}$  и качеством заполнителей (коэффициент А). Количество воды определяют, исходя из заданной подвижности смеси. В задании указывается средняя плотность, прочность бетона, условия эксплуатации, вид конструкции, морозостойкость. Для каждого вида конструкции уже давно установлены оптимальные подвижность смеси и вид уплотнения. При введении пластификатора подвижность оставляют прежней, а обычно снижают массу цемента и В/Ц.

Основная проблема технологии бетона – это оптимизация расхода воды затворения. С одной стороны, необходимо иметь удобоукладываемую смесь. С другой, нужно обеспечить получение бетона заданной прочности и долговечности. Это требует минимизации расхода воды, т.к. избыток ее увеличивает пористость бетона. Это противоречие решается снижением расхода воды за счет использования *пластификаторов, суперпластификаторов и гиперпластификаторов*.

Подвижность определяется осадкой стандартного конуса – ОК, см. Если  $ОК = 0$  см, то используется понятие жесткость смеси, измеряемое в секундах.

Основным показателем качества конструктивных бетонов является их прочность на сжатие. Определение предела прочности бетона при сжатии производится на образцах-кубах  $15 \times 15 \times 15$  см, твердевших 28 сут. в нормальных условиях (относительная влажность – около 100 %,  $t = (20 \pm 2)$  °С, давление – атмосферное). По результатам испытания трех образцов вычисляют среднее значение прочности из двух наибольших значений, а по нему - марку бетона. Вероятность получения марки составляет 50 % или 0,5. Сейчас вместо марки используют классы бетонов.

Морозостойкость бетона зависит в основном от его водопоглощения. Марки по морозостойкости F100...F500 и выше; определяются числом циклов «замораживания-оттаивания». Потеря по прочности не более 15 % от первоначальной прочности и по массе не более 5 %.

Марки бетона по водонепроницаемости W2; W4; W6; W8 и т.д. (число - давление воды, атм, при котором бетона при стандартных испытаниях не про-

пускает воду).

Модуль упругости бетона –  $(1...4)10^4$  МПа (в зависимости от прочности и состава); теплопроводность  $\lambda = (1,1...1,3)$  Вт/(м · °С) ; ТКЛР (в среднем)  $10 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ ; усадка при твердении – 0,2...0,4 мм/м.

## **Лекция № 4.**

### **Марки и классы бетона.**

При проектировании бетонных и железобетонных конструкций назначают требуемые характеристики бетона: класс (марку) прочности, марки морозостойкости и водонепроницаемости.

По старым нормам за проектную *марку бетона по прочности* на сжатие принимают сопротивление осевому сжатию ( $\text{кгс/см}^2$ ) эталонных образцов-кубов. Эталонными считаются образцы-кубы с размерами 15x15x15 см. Испытываются 2 или 3 куба в возрасте 28 суток и вычисляется среднее значение из 2-х или 3-х наибольших соответственно. Следовательно, вероятность получения правильного результата равна 0,5 или 50 %.

Проектная *марка бетона по морозостойкости* характеризуется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания (циклы), которое выдержат образцы в условиях стандартного испытания. Таким испытаниям подвергаются материалы, работающие на открытом воздухе.

Проектная *марка бетона по водонепроницаемости* характеризуется односторонним гидростатическим давлением ( $\text{кгс/см}^2$ ), при котором образцы бетона не пропускают воду в условиях стандартного испытания. Назначается для бетона, к которому предъявляются требования по плотности и водонепроницаемости.

Если необходимо, то раньше назначали марку бетона при растяжении.

Проектные марки тяжелого бетона по прочности на сжатие: М50, М75, М100, М150, М200, М250, М300, М350, М400, М450, М500, М550, М600, М700, М800, М900, М1000. Марки М250, М350, М450 применяют, если это приводит к экономии цемента.

Одним из основных показателей качества лёгких и особо лёгких бетонов является средняя плотность; по ней также назначается марка: D300; D400, D500, D600... D1800. Единица измерения –  $\text{кг/м}^3$ , D от английского слова density – плотность.

Бетон должен иметь однородность по прочности, поэтому при проектировании, изготовлении бетонных изделий и конструкций используют понятие класс бетона. Это величина, учитывающая коэффициент вариации прочности.

$$V_R = S / \check{R}$$

$S$  – среднее квадратическое отклонение частных результатов испытаний от средней плотности  $\check{R}$ , определенное по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1}}$$

Средняя прочность равна, МПа:

$$\check{R} = \sum R_i / n,$$

где  $R_i$  – предел прочности отдельного образца, МПа;

$n$  – число испытанных образцов, шт.

Для определения класса бетона нужна необходимы статистические данные. Поэтому для этого берутся образцы серийно выпускаемого бетона, которые хранятся в одинаковых условиях 28 суток. Число серий должно быть не менее 15, но не менее 2 образцов в каждой. Общее количество образцов должно быть не менее 30 штук. Для хорошего производства бетона коэффициент вариации должен быть:

$$V_R \leq 13,5 \% \text{ или } 0,135$$

От коэффициента вариации зависит требуемая прочность бетона -  $R_m$  и расход цемента в бетоне, его экономические показатели.

$$R_m = R_{норм.} \cdot K_m$$

$R_{норм.}$  – нормируемая прочность бетона (отпускная, передаточная, в промежуточном или проектном возрасте, МПа;

$K_m$  – коэффициент требуемой прочности бетона, зависящий от коэффициента вариации прочности бетона за анализируемый период  $V_R^\Phi$ :

$$K_m = 0,74 / (1 - 1,64 \cdot V_R^\Phi)$$

Для повышения однородности прочности бетона необходимо применение цемента и заполнителей гарантированного качества. На производстве должна выполняться технологическая дисциплина и быть высокой его автоматизация.

Введение класса бетона потребовалось, поскольку вероятность получения его марки с вероятностью 0,5 не удовлетворяло условиям безопасности конструкций и сооружения в целом. Надежность многих сооружений равна и превышает величину 0,99. *Класс бетона* – это количественная характеристика одного из его свойств с вероятностью 0,95.

Для тяжелых и мелкозернистых бетонов установлены следующие классы по прочности на сжатие (МПа): В3,5; В5; В7,5; В10; В15; В20; В25; В30; В40; В45; В50; В55; В60; В65; В70; В75; В80; В85; В90.

Установлено соотношение между классами и марками (МПа) по прочности на сжатие при нормативном коэффициенте вариации -  $V_R = 13,5 \%$ :

$$B / R_{\sigma}^{cp} = 0,7786$$

Например, для класса **В5** средняя прочность бетона будет:

$$R_{\sigma}^{cp} = 6,42 \text{ МПа}$$

Эта цифра показывает экономическую выгоду использования классов бетона. Чтобы обеспечить такую прочность, надо затратить больше цемента. Количественно это можно показать, используя формулу «основного закона прочности» бетона.

## Лекция № 5.

### Полимерные строительные материалы. Области применения.

**Полимеры** – высокомолекулярные соединения, обладающие пластичностью на определенном этапе производства, которая полностью или частично теряется после отверждения. Молекулы таких соединений состоят из нескольких тысяч или даже сотен тысяч атомов. Чаще всего, эти молекулы построены путем многократного повторения определенных структурных единиц. Число структурных единиц, содержащихся в одной макромолекуле называют *степенью полимеризации*.

Высокомолекулярные соединения встречаются в природе. К ним принадлежат натуральный каучук, целлюлоза, шелк, шерсть, янтарь и др. Во второй половине XIX века был открыт процесс вулканизации природного каучука путем нагревания с серой – получение резины. Позднее, с начала XX века, новые высокомолекулярные вещества стали получать искусственным путем: в результате реакций синтеза из сравнительно простых по химическому составу веществ. Сырьем для полимеров служит также каменноугольный деготь, получаемый при коксовании угля и содержащий фенол и другие компоненты. В свою очередь, в газообразных продуктах переработки нефти содержится этилен, пропилен и другие газы, перерабатываемые на предприятиях в полимеры.

Полимеры, в сочетании с наполнителями и добавками, являются основным компонентом для производства пластических масс или, сокращенно, *пластмасс*. Полимеры в составе пластмасс выступают в роли *связующего вещества*, выбор которого в значительной мере определяет технические свойства будущих изделий: их теплостойкость, способность сопротивляться воздействию растворов кислот, щелочей и других агрессивных веществ, а также характеристики прочности и деформативности. Связующее вещество — это обычно самый дорогой компонент пластмассы.

*Наполнители* представляют собой разнообразные неорганические и органические порошки и волокна. В виде наполнителей слоистых пластмасс широко применяют также бумагу, ткани, древесный шпон и другие листовые мате-



риалы. Наполнители значительно уменьшают потребность в дорогом полимере и тем самым намного удешевляют изделия из пластмасс.

*Добавки* – вещества, добавляемые к полимеру для повышения или снижения некоторых его свойств. Применяются следующие добавки:

- *Пластификаторы* — это вещества, добавляемые к полимеру для повышения его эластичности, увеличения вязкости и уменьшения хрупкости. В виде пластификаторов могут использоваться некоторые низкомолекулярные высококипящие жидкости.
- *Отвердителями* называют вещества, являющиеся инициаторами реакции полимеризации, что ускоряет процесс отверждения пластмасс.
- *Стабилизаторы* способствуют сохранению структуры и свойств пластмасс во времени, предотвращая их раннее старение при воздействии солнечного света, кислорода воздуха, нагрева и других неблагоприятных влияний.
- В качестве *красителей* пластмасс применяют как органические (нигрозин, хризоидин и др.), так и минеральные пигменты — охру, мумие, сурик, ультрамарин, белила и др.
- *Порообразователи (порофоры)* вводят для производства пористых пластических масс.

Главной особенностью применения полимеров в пластмассах является то, что появилась возможность получать некоторые материалы с высокими показателями, например:

- малая плотность в пределах от 20 до 2200 кг/м<sup>3</sup>;
- высокие прочностные характеристики (предел прочности при сжатии, например у древопластиков, порядка 200 МПа)
- низкая теплопроводность. Самые легкие пористые пластмассы имеют показатель теплопроводности всего лишь 0,03 Вт/(м·°С), т.е. близкий к теплопроводности воздуха;
- высокая химическая стойкость;

- высокая устойчивость к коррозионным воздействиям;
- способность окрашиваться в различные цвета;
- малая истираемость некоторых пластмасс.
- прозрачность, в сочетании с высокой степенью пропускания ультрафиолетовых лучей: более 70
- относительная легкость сварки материалов из пластмасс (например, труб в струе горячего воздуха) позволяет механизировать работы по монтажу пластмассовых трубопроводов;
- способность некоторых пластмасс образовывать тонкие пленки в сочетании с их высокой адгезией к ряду материалов, вследствие чего такие пластмассы незаменимы как сырье для производства строительных лаков и красок;

Вместе с тем пластмассы имеют ряд недостатков:

- низкая теплостойкость (от +70 до +200 °С);
- малая поверхностная твердость;
- высокий коэффициент термического расширения. Он колеблется в пределах  $25-120 \cdot 10^{-6}$ , т.е. в 2,5-19 раз более высокий, чем у стали. Это необходимо учитывать при проектировании строительных конструкций, особенно крупногабаритных (например, трубопроводов);
- повышенная ползучесть, особенно заметная при повышении температурного режима;
- горючесть с выделением вредных газов;
- токсичность при эксплуатации.

В качестве материала для несущих и ограждающих конструкций широко применяются *полимербетоны* – композиционные материалы, изготавливаемые преимущественно на основе терморезистивных полимеров: полиэфирных, эпоксидных, фенолформальдегидных, фурановых и др. Заполнители выбираются в зависимости от вида агрессивной среды. Для кислых сред изготавливают полимербетоны на кислотостойких заполнителях — кварцевом песке и щебне из

кварцита, базальта или гранита. Используют также бой кислотоупорного кирпича, кокс, антрацит, графит.

Для устройства оболочек и других строительных конструкций применяют *стеклопластики* – композиционные листовые материалы, изготавливаемые из стеклянных волокон или тканей, связанных полимером. Связующим веществом в стеклопластиках обычно служат фенолформальдегидные, полиэфирные и эпоксидные полимеры. Выпускают три разновидности стеклопластиков: на основе ориентированных волокон, рубленых волокон и тканей или матов.

*Клеи* из синтетических материалов обладают высокой клеящей способностью (адгезией) и водостойкостью. Разработаны универсальные составы, которые в отличие от природных клеев хорошо склеивают древесину, пластмассу, металлы, керамику, стекло, природные и искусственные камни. Широко применяют полимерные клеи для ремонта железобетонных конструкций, главным образом клеи на эпоксидных смолах.

*Мастиками* называют высоковязкие полимерные композиции, способные склеивать различные материалы, покрывать поверхность конструкций довольно толстым слоем для предохранения их от коррозии, заполнять щели, раковины, отверстия и другие углубления для получения гладкой поверхности или обеспечения герметичности. По свойствам и технологии мастики отличаются от клеев только повышенной вязкостью или значительным содержанием наполнителя.

Одним из эффективных направлений улучшения свойств традиционных материалов – бетона, дерева, натурального камня, битума и пр. считается обработка их полимерами. Модификацию строительных материалов полимерами осуществляют следующими приемами: введением полимеров в бетонную или растворную смесь при перемешивании; пропиткой полимерами готовых изделий; нанесением полимерных покрытий на поверхности; введением полимерных волокон и наполнителей.

Материалы, модифицированные полимерами, характеризуются повышением прочности при всех видах механического нагружения, но особенно при рас-

тяжении; улучшением деформативных характеристик, выражающихся в уменьшении жесткости, несколько большей предельной деформативности; повышенным сопротивлением динамическим воздействиям благодаря проявлению свойств высокой эластичности полимеров; повышением химической стойкости, водостойкости и водонепроницаемости; уменьшением истираемости; повышением адгезии, т.е. способности сцепляться с другим материалом и служить в качестве клеящего состава. Строительные материалы, модифицированные полимерами, можно полностью отнести к *композиционным материалам*.

К недостаточно изученным свойствам пластмасс следует отнести сроки их службы. Вопросы долговечности материалов, изменяемости их свойств во времени в значительной мере определяют возможность их применения в строительстве. Пока, за время нескольких десятилетий их применения, нет отрицательных результатов. Вместе с тем создаются саморазрушающие пластмассы, чтобы не скапливать бытовых отходов.

## *Лекция № 6.*

### **Теплоизоляционные строительные материалы. Области применения.**

В традиционном строительстве теплоизоляционные материалы применялись в небольших количествах и, как правило, имели природное происхождение – войлок, солома, сухие, например, шлаковые, засыпки. Возросшая стоимость энергии и проблемы с ее запасами поставили задачу повышения эффективности тепловой изоляции ограждающих конструкций. С 2000 года в России установлены новые нормативные значения теплового сопротивления стен и других ограждающих конструкций. Они в 3...3,5 раза выше прежних значений. Побудительной причиной для этого явились большие потери тепловой энергии через поверхности зданий, сооружений, тепловых трасс и тепловых агрегатов. При старых нормативах они к концу XX века достигли 30 % годового потребления топливно-энергетических ресурсов в России.

Решить эту задачу, используя только традиционные материалы, нельзя. Обеспечить заданные значения теплового сопротивления ограждающих конструкций можно только с помощью использования специальных высокоэффективных теплоизоляционных материалов.

К теплоизоляционным материалам относятся материалы, предназначенные для минимизации теплообмена с окружающей средой через ограждающие конструкции зданий и поверхности оборудования и трубопроводов. Такие материалы должны иметь теплопроводность не более 0,175 (Вт / м x К). и, соответственно, среднюю плотность не более 600 кг / м<sup>3</sup>.

Применение теплоизоляционных материалов позволяет, помимо экономии тепловой энергии, существенно снизить вес и толщину ограждающих конструкций, соответственно уменьшив расходы на основные материалы, транспортные и другие расходы.

*По назначению* теплоизоляционные материалы делят на общестроительные и монтажные (для изоляции тепловых агрегатов и трубопроводов).

*По виду исходного сырья* теплоизоляционные материалы бывают неорга-

нические и органические. Это определяет их склонность к возгоранию, рабочие температуры и долговечность. Изготавливают также и комбинированные материалы, состоящие из органического и неорганического сырья (например, цементоцементные материалы).

*По внешнему виду и форме* теплоизоляционные материалы могут быть сыпучими и штучными.

Сыпучие материалы представляют собой рыхлые массы порошкообразного, зернистого и волокнистого строения. В сухом виде их используют для засыпки полостей в ограждающих конструкциях (керамзит, вспученный перлит и т.п.). Некоторые порошкообразные материалы затворяют водой и в виде мастик наносят на изолируемую поверхность трубопроводов и тепловых агрегатов.

Штучные теплоизоляционные материалы – жесткие и гибкие изделия различной формы: плиты, маты, блоки, скорлупы и т.п. Применение штучных изделий позволяет ускорить и упростить производство теплоизоляционных работ и повысить их качество.

Основной особенностью строения теплоизоляционных материалов является их высокая пористость, т.е. высокое содержание воздуха в объеме материала. Причина этого в следующем. Газы по сравнению с жидкостями и твердыми телами обладают чрезвычайно низкой теплопроводностью (объясняется это удаленностью молекул газов друг от друга, что затрудняет передачу ими тепловой энергии). Так, теплопроводность воздуха при 20 °С составляет 0,025 (Вт/м × К). Эта цифра справедлива для переноса тепла воздухом в спокойном состоянии. Ни один из теплоизоляционных материалов не может иметь теплопроводность ниже, чем у воздуха. Движение воздуха (в частности, конвекция) способствует более интенсивному теплообмену. Поэтому теплоизоляционный материал должен состоять из воздуха, лишённого способности перемещаться. Наибольшее содержание воздуха, т.е. максимальная пористость, возможно у материалов, имеющих ячеистое или волокнистое строение. У материалов ячеистого строения (например, пенопластов) пористость может достигать 95...98 %, а у волокнистых (например, минеральной ваты) – 90...95 %. Говоря о теплоизо-

ляционных материалах, мы постоянно подчеркиваем "в сухом состоянии". О том, что мокрый материал защищает от потерь тепла значительно хуже, чем сухой, знают все. Физическая причина этого в том, что теплопроводность воды в 25 раз выше теплопроводности воздуха. Поэтому замена воздуха в порах материала водой ведет к резкому росту теплопроводности.

Физической характеристикой качества теплоизоляционных материалов служит его теплопроводность. Измерение теплопроводности материала процедура сложная, поэтому это качество материалов чаще оценивается по средней плотности, т.е. по массе единицы объема материала. Чем меньше плотность материала, т.е. чем он легче, тем выше его теплоизолирующие свойства.

Сейчас очень популярны и широко используются материалы на основе искусственных минеральных волокон (стекловата, каменная вата, шлаковата и т.п.) и газонаполненные пластмассы (пенополистирол, пенополиэтилен и т.п.). Объем их применения превышает 90% от общего использования теплоизоляционных материалов, хотя каждый из них имеет свои достоинства и недостатки.

Не менее перспективен и также уже давно известен ячеистый бетон. Он выпускается по двум технологиям и называется соответственно газо- и пенобетон. Обычно из него делают небольшие блоки, из которых непосредственно возводится стена. Бесспорным положительным качеством ячеистых бетонов является их негорючесть. Отрицательным – высокое водопоглощение и продуваемость. Поэтому стены из ячеистого бетона требуют обязательной защиты, например, оштукатуриванием.