



Строительные материалы

Лихачев Владислав Александрович, к.х.н.,
доцент

Неорганические вяжущие вещества, цемент



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Вяжущие вещества строительных материалов

- Основой многих строительных материалов (искусственных строительных конгломератов) являются **неорганические вяжущие вещества**, способные **при взаимодействии с водой** или **при обжиге** связываться друг с другом и с наполнителями строительных смесей, образуя искусственный камень.
- Вяжущимися свойствами обладают:
- Оксиды (CaO , MgO , Al_2O_3);
- Соли (CaSO_4 , Na_2SiO_3);
- Гидроксиды (гашеная известь, $\text{Ca}(\text{OH})_2$),
- Многокомпонентные смеси (**цемент, гидравлическая известь, шлаки**).
- **Цемент** является **основным видом вяжущего вещества**

Виды вяжущих

- Неорганические вяжущие вещества делятся на следующие группы:
- **Воздушные** вяжущие вещества, способные схватываться, твердеть и длительно сохранять прочность только в воздушной среде (**CaO, MgO, CaSO₄, Na₂SiO₃**)
- **Гидравлические** вяжущие способны твердеть и сохранять прочность не только на воздухе, но и в воде (**цемент, гидравлическая известь**).
- Вяжущие вещества **автоклавного твердения** твердеющие в автоклавах в паре или при обжиге. (**Al₂O₃**)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Цемент

- **Цемент – сложная по составу смесь вяжущих веществ.**
- Цемент получают обжигом горных пород (например, мергеля - осадочной горной породы смешанного глинисто-карбонатного состава) или обжигом специально подготовленной **сырьевой смеси** (например, 75-78% **известняка (CaCO_3)**: мела, известкового туфа, ракушечника и 25-22% **глины** или глинистых сланцев).
- Обжиг проводится при температуре **1450°C** до спекания.
- В результате обжига смеси в шахтных или вращающихся печах природное сырье разлагается с выделением CO_2 , H_2O , SO_2 и др. газов в результате получается продукт обжига – **клинкер**.
- Химический состав клинкера характеризуется содержанием оксидов (в процентах по массе). Главные оксиды: **CaO =**



Минеральный состав клинкера

- Соотношение оксидов определяет свойства цемента.
- Соотношение оксидов выражается с помощью гидравлического модуля цемента (m).
- Гидравлический модуль - это отношение количества главного оксида (CaO) в строительном материале к сумме других оксидов ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$):

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

- $m = 1,9 - 2,4$ – для портландцемента.

Цемент

- **Состав** клинкера определяется **составом** смеси перед обжигом.
- В клинкере оксиды связаны между собой, образуя **минералы**:
 - **алит** $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (фаза **C_3S**) – 45-60% - самый важный минерал, определяет быстроту твердения, прочность и другие свойства;
 - **Белит** $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (фаза **C_2S**) -20-30% - медленно твердеет, но достигает высокой прочности при длительных сроках твердения;
 - **Трехкальциевый алюминат** $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (фаза **C_3A**)- 4-12% - быстро гидратируется и твердеет, но конечная прочность его не большая, является причиной сульфатной коррозии цементного камня



Цемент

- Далее клинкер размалывается в шаровых мельницах до мелкодисперсного состояния. При размоле часто добавляют добавки, например, двуводный гипс $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, шлаки, золу. Зола и шлаки, также содержат большое количество тех же оксидов ($\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$)
- В результате получается **смесь вяжущих веществ - цемент.**
- С января 2015 действует ГОСТ **30515-2013** на цемент: **«Цементы. Общие технические условия»**
- Согласно этого ГОСТа цементы классифицируются:
- 1. По назначению (общестроительные и специальные);
- 2. По виду клинкера (портландцементный клинкер, глиноземистый клинкер, смесь портландцемента и сульфоалюминатного (сульфоферритного) клинкера.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Виды цемента

3. По вещественному составу: (8 типов)

Тип I – портландцемент;

Тип II A – портландцемент с минеральными добавками (одна добавка или их смесь) от 6% до 20%;

Тип II B – портландцемент + шлак 21—35%;

Тип III – Шлакопортландцемент (портландцементный клинкер + доменный, топливный или электротермофосфатный шлак в количестве 36-65%;

Тип IV – Пуццолановый цемент (портландцементный клинкер + пуццолану и/или зола уноса от 21% до 35%

(Пуццолан - пористый светлый пепловый вулканический туф, применяемый в качестве добавки для изготовления пуццоланового цемента и гидравлической извести). Хорошо твердеет под водой.

ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Виды цемента

- **Тип V** – композитный цемент (портланцементный клинкер + смесь шлака и пуццолану и/или золы уноса от 22-60%);
- **Тип I-C** – сульфатированный портланцемент (портланцемент + сульфатоалюминатный или сульфатоферритный клинкер < 5%);
- **Тип – II-C** -сульфатированный портланцемент (портланцемент + сульфатоалюминатный или сульфатоферритный клинкер от 6 до 20% .
- Буквенные обозначения добавок в цемент: **ш** – шлак, **з** – зола уноса, **п**- пуццолана, **к** – композитная добавка, **мк**- кремнезем, **и** –известняк, **г** – обожженные сланцы, глиеж.

ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Класс цемента

4. По прочности на сжатие цемент делится на классы:

Существуют цементы следующих классов: 22,5, 32,5, 42,5, 52,5.

- Класс цемента – это гарантированная его прочность в МПа ($\text{н/м}^2 \times 10^6$) при исследовании на сжатие балочек размером 4x4x16 см в возрасте 28 суток стандартного хранения (на воздухе и в воде), изготовленных из исследуемого цемента при соотношении цемента и стандартного кварцевого песка в соотношении 1:3.
- Класс цемента выраженный в МПа



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Марка цемента

- У нас продолжают часто пользоваться **маркой цемента на сжатие**.
- Различают марки цемента М300, М400, М500, М550, М600.
- Марка цемента – это его **средняя** прочность на сжатие в кгс/см², при испытаниях балочек того же размера, что и при определении класса.
- Цемент классифицируется по маркам только **в России**.

ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Соотношение марок и классов портландцемента

Марка портландцемента (ГОСТ 10178-85, ГОСТ22236-85) Кгс/см ²	Класс прочности (ГОСТ 31108- 2003) МПа (н/м ² x10 ⁶)
300	22,5Н
400	32,5Н
400Б	32,5Б
500	42,5Н
500Б	42,5Б
550	52,5Н
600	52,5Б

Н — нормальнотвердеющий, Б - быстротвердеющий

ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Виды цемента

5. По скорости твердения:

- **Нормальнотвердеющие (Н)** с нормированием прочности в возрасте 2 (7) суток и 28 суток;
- **Быстротвердеющие (Б)** с нормированием прочности в возрасте 2 и 28 суток повышенной в сравнении с нормальными;
- **Медленнотвердеющие (М)** с нормированием прочности в возрасте 2 и 28 суток пониженной в сравнении с нормальными;

6. По срокам схватывания:

Медленносхватывающиеся - с схватыванием >2 час

Нормальносхватывающиеся - от 45 мин до 2 часов;

Быстрохватывающиеся - срок схватывания < 45 мин

Свойства цемента

- **Тонкость помола** – определяет быстроту твердения и прочность цементного камня (удельная поверхность 2500-3000 см²/г.
- **Истинная плотность** - 3,05-3,15 г/см³;
- **Насыпная плотность** -1300 кг/м³;
- **Водопотребность** (НГ = 21-28%), характеризуется количеством воды (% от массы цемента), необходимым для получения цементного теста нормальной густоты;

Маркировка цемента на таре.

- В соответствии с новым ГОСТ 30515-2013 цемент на таре должен обозначаться следующим образом:
ЦЕМ II/A-Ш 42,5 Н.

Где, ЦЕМ –цемент; II/A –Ш - тип цемента (портландцемент с минеральными добавками до 20%, минеральная добавка –шлак (ш));

42,5 – класс цемента в МПа; Н – нормальнотвердеющий

По старому ГОСТу 10178-85 было бы написано **Цемент 500-20Д**, Где, 500 – марка цемента в

Маркировка цемента

Маркировка цемента по старому ГОСТу: ГОСТ 31108-2003.

ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Salecement.RU



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Характеристики цемента

Характеристика цемента

Вид цемента	Марка	Прочность на сжатие, МПа	Сроки схватывания (начало/конец)
Портландцемент	300	30	45 мин/10 ч
	400	40	
	500	50	
	600	58	
Пластифицированный портландцемент	200	30	То же
	400	40	
	500	50	
Белый, цветной портландцемент	400	40	45 мин/12 ч
	500	50	
Глиноземистый цемент	400	40	30 мин/12 ч
	500	50	
	600	60	
Расширяющийся портландцемент	400	40	45 мин/10 ч
	500	50	
Пуццолановый портландцемент	300	30	То же
	400	40	
	500	50	
Гидрофобный портландцемент	300	30	"-"
	400	40	
	500	50	
Шлакопортландцемент	300	30	"-"
	400	40	
	500	50	



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Гипсовые вяжущие вещества

Гипсовые вяжущие вещества относятся к **воздушным** и делятся на **низкообжиговые (110-180°C)** и **высокообжиговые (600-900°C)**. Обжигаются природные материалы или отходы **Гипсовые смеси** в строительстве называют **алебастром**.

Низкообжиговые

- **Строительный гипс** $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$;
- **Формовочный гипс** $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ более мелкий помол;
- **Высокопрочный гипс** $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$;

Высокообжиговые

- **Ангидрид** CaSO_4 ;
- **Высокообжиговый гипс** (Ангидрид CaSO_4 + 3-5% CaO)

При твердении гипсовые вяжущие переходят в **двуводный гипс** $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а изделия на 1% увеличиваются в объеме.

Гипсовые вяжущие вещества

- Для получения удобоукладываемого гипсового теста необходимо взять 50-70% воды от массы гипса, а на химическую реакцию гидратации требуется всего 18,6% воды. Избыток воды затем испаряется, что обуславливает большую **пористость** (40-60%) и соответственно **невысокую прочность** изделий из гипса.
- Марку гипса (от Г-2 до Г-25, где цифра означает предел прочности на сжатие в МПа) определяют по результатам испытаний образцов-балочек размерами 40x40x160 мм через два часа после их изготовления.
- Водостойкость изделий на основе гипсовых вяжущих не велика.
- Гипсовые вяжущие различают по **срокам схватывания**.

Гипсовые вяжущие вещества

Группы гипсовых вяжущих веществ по срокам схватывания

Вид вяжущего	Индекс сроков схватывания	Сроки схватывания, мин.	
		Начало, не ранее	Конец, не позднее
Быстротвердеющее	А	2	15
Нормальнотвердеющее	Б	6	30
Медленнотвердеющее	В	20	не нормируется

Применение гипсовых вяжущих веществ

- **Архитектурные элементы;**
- **Сухая штукатурка;**
- **Штукатурные растворы;**
- **Гипсокартон;**
- **Гипсобетонные панели;**
- **Приготовление гипсоцементно-пуццолановых вяжущих.**

Гипсокартон.

- **Гипсокартон** — строительный материал, представляющий собой лист, состоящий из двух слоёв строительной бумаги (картона) и сердечника из слоя затвердевшего гипсового теста с наполнителями. Предназначается для устройства обшивок, перегородок, потолков в зданиях с сухим и нормальным влажностным режимом. Стандартная ширина листа — 1200 мм, длина 2000, 2500, 3000 мм
- Выпускается четырех модификаций:
 - Гипсокартон обычный – **ГКЛ**
(гипсокартонный лист);
 - Гипсокартон влагостойкий – **ГКЛВ** (гидрофобизированный);
 - Гипсокартон огнестойкий – **ГКЛО**;
 - Пазогребневые гипсокартонные плиты – **ПГП** (лучшая

Воздушная известь

- **Воздушная известь** – вяжущее вещество, получаемое в результате обжига (при $900-1200^{\circ}\text{C}$) природных материалов, содержащих преимущественно карбонат кальция CaCO_3 (известняк, мел). Состоит в основном из оксида кальция CaO , но в ней может быть небольшое количество MgO .
- Воздушная известь способна твердеть только на воздухе.
- Мелкомолотый CaO называется **негашеной известью - кипелкой**. Так как она легко взаимодействует с водой с выделением такого количества тепла, что смесь закипает и превращается в гашеную известь Ca(OH)_2 .
- После гашения негашеной извести CaO гашеная известь Ca(OH)_2 получается очень мелкодисперсной и ее часто называют **известь – пушенка**.

Применение воздушной извести

- **Воздушную известь** применяют для изготовления **силикатного кирпича** и силикатных бетонов, для каменной кладки без добавок или с добавками цемента, для штукатурных работ, как составную часть смешанных вяжущих (известково-шлаковых, известково-пуццолановых).
- Прочность известковых растворов невелика: предел прочности при сжатии составляет 0,4-1,0 МПа на гашеной извести и до 5,0 МПа на негашеной извести.
- Более высокая прочность изделий может быть получена при **автоклавном твердении** (силикатный кирпич и силикатные бетоны)

Силикатный кирпич

- **Силикатный** (известково-песчаный) кирпич изготавливают прессованием смеси, состоящей из 92-94 % песка, 6-8% извести. Влажность смеси 7-9% по массе.
- Технология изготовления включает: измельчение извести – кипелки - смешение с песком - гашение извести паром – дополнительное перемешивание – увлажнение до 7-8% - формование на прессах (15-20 Мпа) – обработка в автоклаве:
 $P = 0,8 - 1,3 \text{ Мпа (8-13 атм)}$, $T = 175 - 200 \text{ С}$, 10 -14 часов – выдержка на воздухе для карбонизации извести не вступившей в реакцию.)
- При автоклавной обработке известь вступает в реакцию с кремнеземом с образованием гидросиликатов кальция различного состава: $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Силикатный кирпич

- Силикатный кирпич выпускается тех же размеров что и глиняный **250x120x65** мм, утолщенный **250x120x88** мм. Может быть полнотелым и пустотелым. Выпускаются также пустотелые силикатные камни 250x120x138.
- Установлены марки кирпича (камня) по пределу прочности на сжатие – М75, М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300;
- По морозостойкости – F15, F25, F35, F50;
- Водопоглощение по массе не менее 6 % ;
- Плотность силикатного кирпича обычно 1600-1800 кг/м³, такая плотность обеспечивает лучшие его характеристики.
- Силикатный кирпич может быть цветной;
- Себестоимость силикатного кирпича на **25-35 %** ниже глиняного;

Силикатный кирпич

- У силикатного кирпича пониженная теплопроводность и лучшая шумоизоляция в сравнении с глиняным.

Недостатки

- Силикатный кирпич не рекомендуется для фундаментов и цоколей зданий из-за недостаточной водостойкости.
- Не используется во влажных помещениях: прачечные, бани, ваннные комнаты.
- Не используется для кладки печей и труб т.к. разрушается при высоких температурах.
Максимальная температура использования 550 С.

Гидравлическая известь

- Гидравлическая известь, известь способная твердеть и сохранять прочность не только на воздухе, но и в воде – это, также как цемент, многокомпонентный состав, содержащий **CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃**.
- Гидравлические свойства вяжущих зависят от гидравлического модуля и температуры обжига сырья.
- **Гидравлический модуль** - это отношение количества оксидов в строительном материале:

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

Гидравлический модуль (m)

- $m > 9$ – для воздушной извести;
- $m = 1,7 - 9$ - для гидравлической извести;
- $m = 1,9 - 2,4$ – для портландцемента.

Усиление гидравлических свойств портландцемента в сравнении с гидравлической известью связано не только с уменьшением гидравлического модуля, но и с повышением температуры обжига сырья при получении этих веществ: 1000°C – известь, 1450°C – портландцемент.

Жидкое стекло

- Na_2SiO_3 – один из видов вяжущих веществ.
- Химическое название – силикат натрия.
- Бытовое название - силикатный (канцелярский) клей
- Строительное название - жидкое стекло (раствор Na_2SiO_3 в воде) – желтая или коричневая жидкость.

Применение

- Добавление к строительным смесям и растворам для повышения их прочности, влагостойкости и огнестойкости.
- Для получения кислотостойкого бетона.