

*Ведищев Кирилл Алексеевич*  
*студент*  
*4 курса, направление «Проектирование*  
*технологических машин и комплексов»*  
*Белгородский государственный технологический*  
*университет им. В.Г. Шухова*  
*Россия, г. Белгород*  
*Полторан Ярослав Евгеньевич*  
*студент*  
*4 курса, направление «Проектирование*  
*технологических машин и комплексов»*  
*Белгородский государственный технологический*  
*университет им. В.Г. Шухова*  
*Россия, г. Белгород*

## ГИДРАТАЦИЯ ЦЕМЕНТА

***Аннотация:** В статье рассматривается процесс гидратации цемента. Также рассматриваются основные стадии выделения тепла при твердении цементного раствора, а также рассматриваются продукты гидратации.*

***Ключевые слова:** гидратация, цемент, клинкер, твердение.*

***Annotation:** The article discusses the process of cement hydration. It also discusses the main stages of heat release during the hardening of cement mortar, as well as the products of hydration.*

***Key words:** hydration, cement, clinker, hardening.*

В процессе гидратации (реакция с водой) портландцемент, смешанный с песком, гравием и водой, производит синтетическую породу, которую мы называем бетоном. Бетон является такой же неотъемлемой частью современного мира, как электричество или компьютеры.

Давайте же рассмотрим, что будет происходить с цементом при смешивании с водой. Безводный клинкер – это клинкер полученный из

горячей печи. Цементный порошок также является безводным, если игнорировать небольшое количество воды в любом гипсе, добавляемом на стадии измельчения клинкера.

Реакция с водой называется «гидратация». Это включает в себя множество различных реакций, часто происходящих одновременно. По мере протекания реакций продукты процесса гидратации постепенно связывают вместе отдельные частицы песка, гравия и других компонентов бетона, образуя твердую массу.

### Процесс гидратации

В безводном состоянии обычно присутствуют четыре основных типа минералов: алит ( $C_3S$ ), белит ( $C_2S$ ), алюминат ( $C_3A$ ) и алюмоферит ( $C_4AF$ ). Также присутствуют небольшие количества сульфата клинкера (сульфаты натрия, калия и кальция), а также гипс, который был добавлен при измельчении клинкера для получения знакомого всем серого порошка – цемента [1].

При добавлении воды, реакции, которые происходят, в основном являются экзотермическими, то есть реакции генерируют тепло. Мы можем получить показатель скорости, с которой минералы реагируют, контролируя скорость, с которой выделяется тепло, используя технику, называемую проводящей калориметрией. Наглядный пример полученной кривой выделения тепла показан ниже [3].

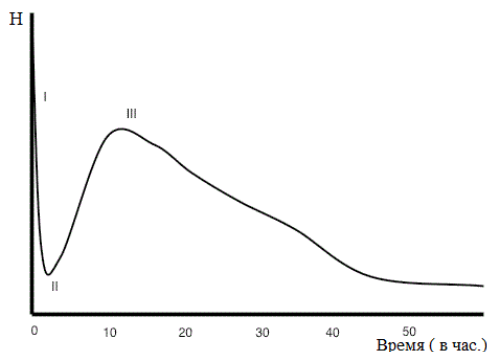


Рис 1. Основные периоды выделения тепла при твердении.

График, показывающий основные периоды выделения тепла при твердении цементной пасты на интервале времени до 60 часов. Почти сразу же при добавлении воды некоторые из сульфатов клинкера и гипса растворяются, образуя щелочной раствор с высоким содержанием сульфатов.

Вскоре после смешивания алюмината (наиболее реакционно-способный из четырех основных минералов клинкера) вступает в реакцию с водой, образуя богатый алюминатом гель (стадия I на кривой выделения тепла выше). Гель реагирует с сульфатом в растворе с образованием небольших палочковидных кристаллов этtringита (гидросульфоалюминат кальция) [2]. Реакция алюмината с водой является сильно экзотермической, но она не длится долго, обычно только несколько минут, и сопровождается периодом (несколько часов) относительно низкого выделения тепла. Это называется периодом покоя (Стадия II).

Первая часть периода покоя, возможно, до середины, соответствует тому, когда бетон может быть уложен. По мере прохождения периода покоя паста становится слишком жесткой, чтобы с ней можно было работать.

В конце периода покоя алит и белит в цементе начинают реагировать с образованием гидросиликата кальция и гидроксида кальция. Это соответствует основному периоду гидратации (стадия III), в течение которого прочность бетона увеличивается. Отдельные зерна реагируют от поверхности внутрь, и безводные частицы становятся меньше. Гидратация алюмината также продолжается, так как свежие кристаллы становятся доступными для воды. Период максимального тепловыделения обычно происходит между 10 и 20 часами после смешивания, а затем постепенно уменьшается.

Реакция алюмоферрита также начинается быстро при добавлении воды, но затем замедляется, вероятно, из-за того, что образуется слой геля гидроксида железа, который покрывает феррит и действует как барьер, предотвращая дальнейшую реакцию.

### **Продукты гидратации**

Безводные минералы клинекера при реакции с водой превращаются в гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферраты кальция. Образовавшийся  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  под действием  $\text{CO}_2$  воздуха постепенно превращается в  $\text{CaCO}_3$ , гидроалюминаты кальция с гипсом в присутствии воды дают двойные основные сульфаты, например  $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_3 \cdot 26\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{12}\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . При получении бетона образовавшийся  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с  $\text{CO}_2$  воздуха и  $\text{SiO}_2$  превращается в очень прочную массу, состоящую из карбонатов и силикатов кальция. Продукты гидратации постепенно затвердевают и превращаются в цементный камень [1].

### **ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ:**

1. Неввиль А.М. Свойства бетона / пер. с англ. Парфенова В.Д. и Т.Ю. Якуб – М.: Изд-во лит. по строительству, 1972. – 342 с.
2. Шमितько Е.И., Крылова А.В., Шаталова В.В. Химия цемента и вяжущих веществ: учебное пособие / Воронеж, 2005. – 164 с.
3. Адамцевич А.О., Пашкевич С.А., Пустовгар А.П. Использование калориметрии для прогнозирования роста прочности цементных систем ускоренного твердения // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 3. – С. 36 – 41.