

Из результатов, представленных в таблице, следует, что насыпная плотность шихт на техногенном сырье выше, чем на природном. Использование техногенного сырья снижает содержание несвязанной извести. Еще один фактор, уменьшающий ее количество, заключается в снижении модульных характеристик клинкеров в сравнении с исходными двухкомпонентными сырьевыми смесями по причине разбавления их золой твердого топлива.

Активность клинкеров на техногенном сырье варьируется в широком диапазоне. При этом возможно получить клинкер с активностью более 40 МПа, что подтверждает принципиальную возможность получения на сырье, содержащем РШ, нормального клинкера. Еще один принципиально важный результат состоит в возможности сократить количество сырьевых компонентов до минимума – шлакового и карбонатного в виде мела или известняка.

Использование техногенных сырьевых композиций позволяет снизить теплопотребления на обжиг клинкера на 15-20 %. При использовании агломерационного обжига дополнительную экономию 10-15 % может обеспечить использование для зажигания шихты вторичного воздуха. В его качестве рекомендуется применять отходящие газы с хвостовой части агломашины, которые следует перенаправлять их в зажигательный горн.

Таким образом, применяя агломерационный обжиг клинкера, на основе рассыпающегося шлака, и мела, реально организовать энергосберегающее производство цемента. Следует добавить, что тенденция к увеличению дисперсности клинкерных цементов и использование в их составе микрокремнезема или его аналогов должны благоприятствовать беспрепятственному использованию клинкеров агломерационного обжига, имеющих, в сравнении с традиционным клинкером, повышенное содержание несвязанного оксида кальция.

#### Библиографический список

1. Вальберг Г.С. Получение цементного клинкера на агломерационной решетке. М: Промстройиздат, 1957.С.84.
2. Уфимцев В.М. Газовый горн к спекательной установке. Труды Уральского политехнического института. Комбинированный способ производства портландцементного клинкера. Сборник № 174. Свердловск. Изд-во УПИ, с.89-94.
3. Уфимцев В.М., Капустин Ф.Л., Пьячев В.А. Проблемы использования техногенного сырья в производстве цемента.//Цемент и его применение.2009 №6. С.86-90.

## **ВЛИЯНИЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПРОНИКАЮЩЕЙ КАПИЛЛЯРНОЙ СМЕСИ «ПЕНЕТРОН» НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ**

*Ф.Л. Капустин, А.М. Спиридонова, Д.В. Балакин, асп. Е.П. Помазкин*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

В настоящее время на российском рынке представлен большой ассортимент гидроизоляционных проникающих капиллярных смесей зарубежных и отечественных производителей. Содержащиеся в них химически активные компоненты растворяются в воде и способны мигрировать вглубь бетона по развитой капиллярной сети и вступать в химическое взаимодействие с компонентами цементного камня, образуя нерастворимые в воде кристаллогидраты, которые становятся частью бетонной структуры и уплотняют ее [1-3].

Таким новообразованием в цементном камне может быть, например гидросульфалоюминат кальция (эттрингит), который, наряду с уплотнением структуры может привести к деструкции цементного камня, так как объем образующегося эттрингита превышает объем исходных растворенных компонентов и оказывает давление на внутренние стенки пор бетона. Эти процессы схожи с процессами, происходящими при коррозии третьего вида [4].

Цель исследования – изучить влияние гидроизоляционной проникающей капиллярной смеси «Пенетрон» на структуру и свойства цементного камня как составляющей бетона.

Для исследования закономерностей изменения структуры и свойств цементного камня, обработанного смесью «Пенетрон», проводили определение у него открытой пористости методом водопоглощения, рентгенофазовый анализ (РФА), определяли потери массы при прокаливании ( $\Delta m_{\text{прк}}$ ), а также проводили химический анализ цементного камня на предмет содержания в нем высокоосновной формы гидросульфалоюмината кальция (ГСАК) в различные сроки твердения [5].

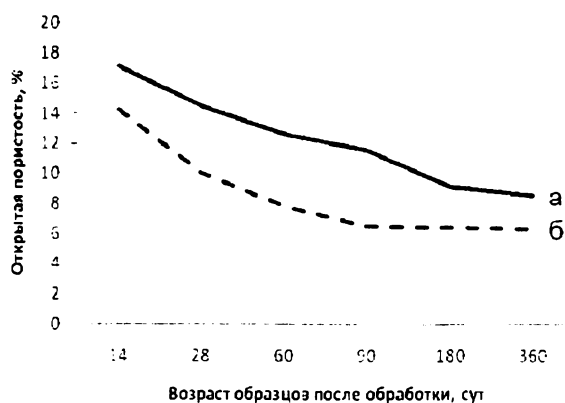


Рис. 1. Открытая пористость цементного камня: а – контрольный состав; б – состав, обработанный смесью «Пенетрон»

снижается открытая пористость (рис. 1), что оказывает существенное влияние на проницаемость бетона.

Цементный камень, обработанный гидроизоляционной капиллярной смесью «Пенетрон» и твердеющий затем в течение 28 суток, помимо основных гидросиликатов и гидроксида кальция, характеризуется более интенсивным образованием этtringита ( $d = 5,6; 3,89; 2,77 \text{ \AA}$ ), гидрокарбоалюмината кальция ( $d = 4,91; 3,89; 3,037; 2,78 \text{ \AA}$ ) и кальцита ( $d = 3,88; 3,037; 1,927 \text{ \AA}$ ) (рис. 2). Данные РФА, проведенного через 180 суток после нанесения смеси «Пенетрон» на цементный камень, свидетельствуют о продолжающемся увеличении содержания этtringита ( $d = 5,6; 3,88; 2,77 \text{ \AA}$ ), гидрокарбоалюмината ( $d = 3,88; 3,033; 2,78 \text{ \AA}$ ), так же наблюдается некоторое снижение количества  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  по сравнению с контрольным образцом ( $d = 4,91; 2,63; 1,93 \text{ \AA}$ ) (рис. 3).

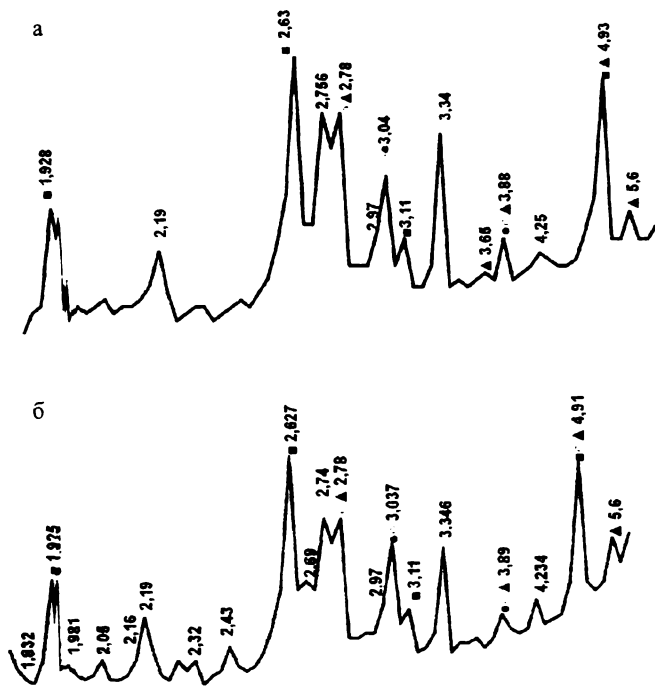


Рис. 2. Рентгенограмма цементного камня: а – контрольного; б – через 28 суток после обработки смесью «Пенетрон»: ■ –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; ▲ –  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ; ● –  $\text{CaCO}_3$ ; ○ –  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Были приготовлены две партии образцов цементного камня. Первая партия являлась контрольной. Вторую обработали смесью «Пенетрон». Нанесение материала на поверхность цементного камня производили в возрасте 28 суток. Для изготовления образцов-кубов с размером ребра 20 мм использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108-2003 производства ЗАО «Невьянский цементник». Образцы хранились в эксикаторе над водой.

Установлено, что у цементного камня, обработанного гидроизоляционной капиллярной смесью «Пенетрон» в значительной мере

Практически все линии этtringита, гидрокарбоалюмината и кальцита совпадают. Опираясь на РФА нельзя с уверенностью сказать какое именно, из вышеперечисленных соединения образуется в большем количестве и обеспечивает уплотнение структуры.

Для корректной интерпретации данных полученных с помощью РФА, определили потери массы при прокаливании ( $\Delta m_{\text{прк}}$ ) цементного камня при температурах 100, 200, 400, 600, 950°C (рис. 4-8). Известно, что при температуре до 200°C происходит потеря химически связанной воды у этtringита (140-170°C) и других AFt фаз и частично гидрокарбоалюмината кальция (150-500°C) [6]. При

температуре 580°C Ca(OH)<sub>2</sub> теряет воду [7] и потери массы при температуре выше 550°C частично происходят за счет удаления CO<sub>2</sub>, а также за счет последней стадии дегидратации C-S-H и гидроалюминатов. Дегидратация гидроалюминатов происходит в достаточно широких пределах от 200 до 500°C [8]. Образующиеся при гидратации C<sub>3</sub>S и C<sub>2</sub>S новообразования имеют тоберморитоподобную структуру. Они полностью теряют химически связанную воду при 800°C. При температуре 850°C происходит декарбонизация карбоната кальция и разложение гипса (800-1000°C). Следует обратить внимание на то, что интервалы температур, при которых происходит потеря

химически связанной воды, для приведенных выше соединений близки, а в некоторых случаях перекрываются. При использовании данного метода практически невозможно получить результаты, для какого либо соединения с погрешностью меньше  $\pm 1\%$  [6]. Следует говорить лишь о более или менее интенсивном образовании тех или иных фаз.

Наиболее существенные различия  $\Delta m_{\text{прк}}$  между образцами, контрольными и обработанными «Пенетроном» наблюдаются в интервале температур 100-200°C (рис. 4). Значения  $\Delta m_{\text{прк}}$  цементного камня в возрасте 90 суток после обработки составом «Пенетрон» значительно выше, чем у контрольного состава, что подтверждает более интенсивное образование в нем АFt фаз (эtringита), возможно и гидрокарбоалюмината кальция в цементном камне.

В интервале температур 200-400°C различия наблюдаются лишь к возрасту 90 суток, возможно, за счет образования гидрокарбоалюминатов кальция в образцах обработанных смесью «Пенетрон». Напротив в интервале температур 400-600°C значения  $\Delta m_{\text{прк}}$  у образцов, обработанных смесью «Пенетрон», несколько ниже чем у контрольных образцов, что может свидетельствовать о меньшем содержании в образцах гидроалюминатов и гидроксида кальция, что подтверждается данными полученными с помощью РФА (рис. 2-3).

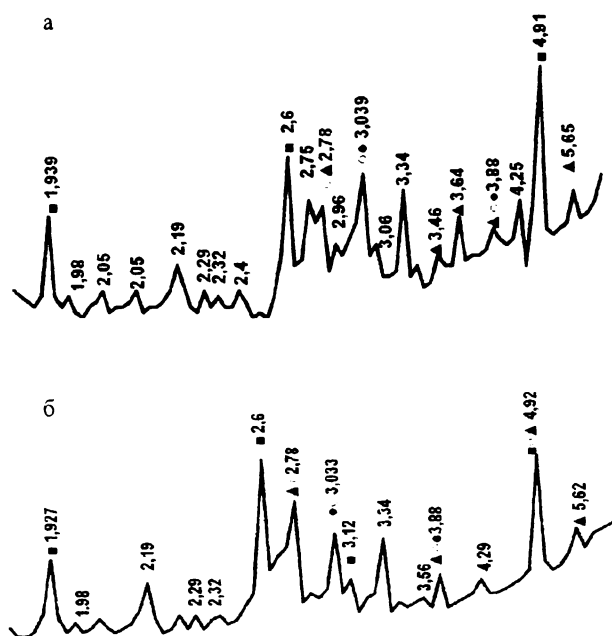


Рис. 3. Рентгенограмма цементного камня: а – контрольного; б – через 180 суток после обработки смесью «Пенетрон»: ■ – Ca(OH)<sub>2</sub>; ▲ – 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3CaSO<sub>4</sub>·32H<sub>2</sub>O; ● – CaCO<sub>3</sub>; ○ – 3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·CaCO<sub>3</sub>·12H<sub>2</sub>O

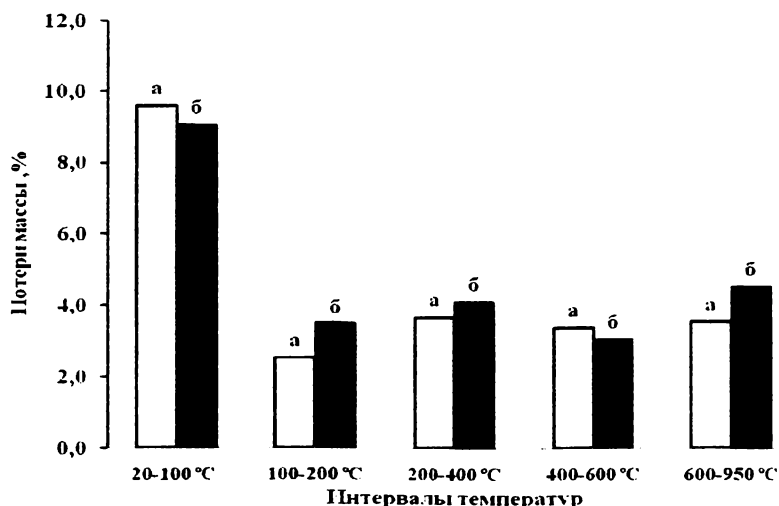


Рис. 4. Потери массы при прокаливании цементного камня в возрасте 90 сут. в различных интервалах температур: а – контрольный; б – обработанный смесью «Пенетрон»

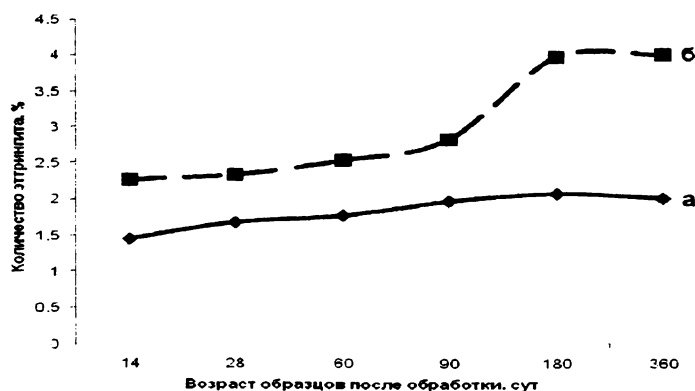


Рис. 5. Содержание этtringита в цементном камне в различные сроки твердения: а – контрольный состав; б – состав, обработанный смесью «Пенетрон»

смесью «Пенетрон», в нем происходит образование дополнительного количества AFt фаз предположительно этtringита, гидрокарбоалюмината, а также кальцита. Для более точной оценки влияния материала «Пенетрон» на структуру цементного камня провели количественное определение этtringита химическим путем (рис. 5). Установлено, что в контрольных образцах через 14-28 суток твердения его количество стабилизируется. В дальнейшем, вплоть до возраста 360 суток прирост содержания в цементном камне этtringита незначительный (не превышает 2 % от массы цементного камня), что указывает на формирование  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 31\text{H}_2\text{O}$  в ранние сроки твердения, что подтверждается данными [6].

В цементном камне, обработанном смесью «Пенетрон», увеличение количества этtringита наблюдается вплоть до 360 суток твердения. При этом по сравнению с 14 суточным возрастом, оно увеличилось примерно в два раза. Необходимо учитывать, что объем образующегося этtringита превышает объем исходных растворенных компонентов в 1,5-2 раза. После обработки смесью «Пенетрон» наблюдается улучшение гидрофизических свойств цементного камня, а именно – повышается водонепроницаемость бетона [9], значительно снижается открытая пористость цементного камня, что обусловлено образованием в его порах и капиллярах ГСАК, гидрокарбоалюминатов кальция, а также кальцита.

#### Библиографический список

1. Пат. 95117630/03 Российская Федерация, E04B1/64. Композиция для защиты бетонных поверхностей и способ защиты бетонных поверхностей / А.В. Русинов, С.М. Баев.; заявитель и патентообладатель А.В. Русинов, С.М. Баев; опубл. 27.01.1997.
2. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте: учеб. пособие / А.А. Шилин [и др.]. Тверь: Русская торговая марка, 2003. 396 с.
3. Бровкина Н. Г. Влияние солей проникающей гидроизоляции на фазовый состав и пористость цементного камня. / Н.Г. Бровкина, Г.И. Овчаренко, В.Г. Быков, М. П. Изосимов // Вестник ЮУрГУ: Серия «Строительство и архитектура». 2010. № 10. С. 19-21.
4. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]; под ред. В.М. Москвина. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
5. Курбатова И.И. Современные методы химического анализа строительных материалов / И.И. Курбатова. М.: Стройиздат, 1972. 175 с.
6. Тейлор Х. Химия цемента. Пер. с англ. / Х. Тейлор. М.: Мир, 1996. 560 с.
7. Рабинович В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин. Л.: Химия, 1978. 392 с.
8. Ларионова З.М. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного камня и бетона / З.М. Ларионова, Л.В. Никитина, В.Р. Гарашин. М.: Стройиздат, 1977. 264 с.
9. Гидроизоляционные материалы – XXI век «Aqua STOP»: сборник докладов 1-й Междунар. науч.-техн. конф. Санкт-Петербург: ПГУПС, АНТЦ «Алит», 2001. 107 с.

Значения  $\Delta m_{\text{прк}}$  в интервале температур 600-950°C для состава, обработанного «Пенетроном» несколько выше значений контрольного состава, что свидетельствует о присутствии во втором составе большего количества тоберморитоподобных гидросиликатов кальция и карбонатов. Проведенный РФА и определение  $\Delta m_{\text{прк}}$  указывают на то, что при обработке цементного камня