

удк

Н.Н. СЕРЕБРЯКОВА, бакалавр, Г.И. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук,  
Г.Н. ПЕРВУШИН, д-р техн. наук, Ижевский государственный технический университет;  
А.Ф. БУРЬЯНОВ, канд. техн. наук, ВНИИСТРОМ им. П.П. Будникова (Московская обл.);  
Я. КЕРЕНЕ, проф., Р. МАЧЮЛАЙТИС, проф.,  
Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса (Литва)

## Полистиролбетон на основе фторангидрита

Производство плавиковой кислоты из флюорита посредством обработки его серной кислотой сопровождается образованием значительного количества отходов в виде безводного сульфата кальция, который имеет в своем составе небольшое количество  $\text{CaF}_2$  и называется фторангидритом. Фторангидрит в отвалах занимает большие площади и загрязняет территорию, окружающую завод «Галоген», пылящим порошком, который содержит до 2% концентрированной серной кислоты и нарушает экологию. Данный отход производства имеет свойство гидратировать при активации известными химическими соединениями [1], поэтому возможно использование фторангидрита в качестве вяжущего при производстве строительных материалов. Применение фторангидрита в качестве сырья для приготовления легких бетонов [2] позволяет уменьшить стоимость в несколько раз за счет отсутствия дорогостоящего цемента в составе материала и упростить технологию производства.

В тоже время, при проектировании и строительстве зданий актуальным является вопрос снижения массы отдельных конструкций и всего здания в целом [3]. В конструкциях зданий должны применяться экологически безопасные, низкоэнергетические строительные материалы, изготавливаемые по малозатратным технологиям на базе преимущественного использования продуктов переработки техногенных отходов и

местных природных сырьевых ресурсов [4, 5]. Применяемые для теплоизоляции строительных конструкций плиты из пенополистирола обеспечивают необходимые теплофизические свойства, но в тоже время они имеют недостатки, ограничивающие их широкое использование, такие как низкая прочность, горючесть, недостаточная прочность в нем химических связей, обуславливающее его химическую деструкцию в процессе эксплуатации. Эти недостатки в значительной степени можно снизить или устранить, используя пенополистирол в виде вспученных гранул в качестве заполнителя в легких бетонах, известных по работам [6, 7] и бесцементную матрицу.

Таким образом, разработка полистиролбетона на основе ангидритовой матрицы является одним из приоритетных направлений, которое позволяет решать одновременно экологические проблемы и получать энергосберегающие технологии производства эффективных теплоизоляционных материалов.

Используемый фторангидрит (согласно ТУ 6-00-05807960-88-92. Нейтрализованный отход производства фтористого водорода (фторангидрит). Технические условия) представляет собой порошкообразный отход, образующийся при производстве плавиковой кислоты, содержит в своем составе более 92% безводного сульфата кальция  $\text{CaSO}_4$ . Фторангидрит подвергался помолу до удельной поверхности  $2800 \text{ см}^2/\text{г}$ .

На рентгенограмме фторангидрита (рис. 1б) наблюдаются отражения, соответствующие нерастворимому ангидриту  $\beta\text{-CaSO}_4$  ( $d_{\alpha}, \text{Å} = 3,5; 2,84$ ), растворимому ангидриту  $\gamma\text{-CaSO}_4$  ( $d_{\alpha}, \text{Å} = 2,80; 5,47$ ), флюориду  $\text{CaF}_2$  ( $d_{\alpha}, \text{Å} = 3,14; 1,93; 1,65$ ). Присутствуют отражения незначительной интенсивности, соответствующие двухводному гипсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $d_{\alpha}, \text{Å} = 4,27; 7,72$ ) и также отражение весьма малой интенсивности ( $d_{\alpha}, \text{Å} = 3,03$ ), соответствующее главному отражению кальцита  $\text{CaCO}_3$ .

Для приготовления ангидритового теплоизоляционного композиционного материала в качестве легкого заполнителя использовались шарообразные вспененные пенополистирольные гранулы размером 2–5 мм и плотностью  $15 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

В качестве армирующей добавки в состав разрабатываемого композита добавлялось рубленое базальтовое волокно (рис. 2) длиной 10–12 мм и средним диаметром 4,5 мкм. Базальтовое волокно производится ООО «Уральский завод изоляции» (г. Сарапул Удмуртской Республики) и имеет исходную длину 70–120 мм. Базальтовые волокна обладают высокой прочностью и химической стойкостью в щелочной среде, которая преобладает в составе ангидритового композита.

Основной проблемой получения качественного полистиролбетона на ангидритовой вяжущей матрице является оптимизация соотношения между его плотностью и необходи-

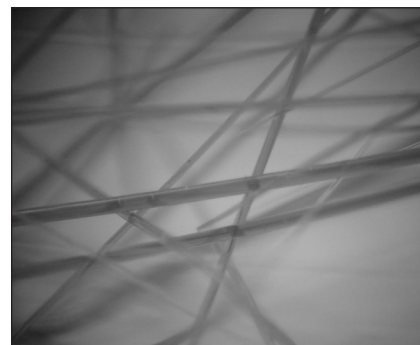
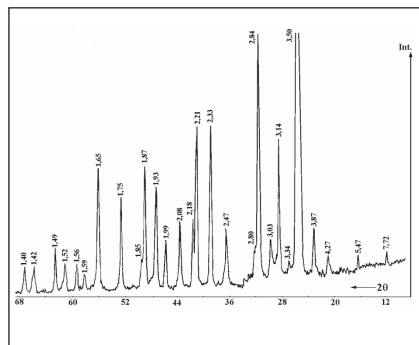
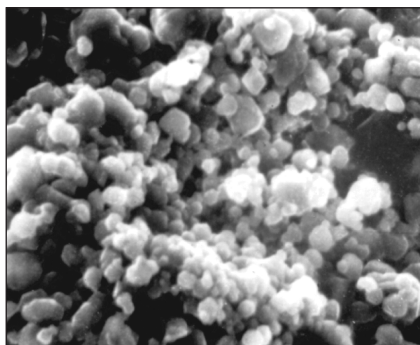


Рис. 1. Микроструктура фторангидритового порошка при 1200-кратном увеличении (а), рентгенограмма фторангидрита (б)

Рис. 2. Внешний вид базальтового волокна при 200-кратном увеличении

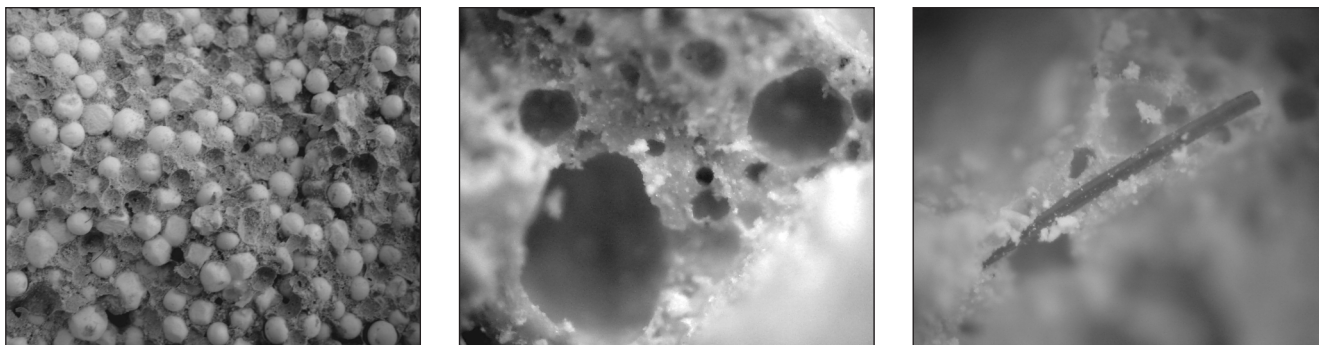


Рис. 3. Структура скола полистиролбетона (а), поризованная структура ангидритовой матрицы (б), характер сцепления фторангидритовой матрицы с базальтовым волокном (в) при 200-кратном увеличении

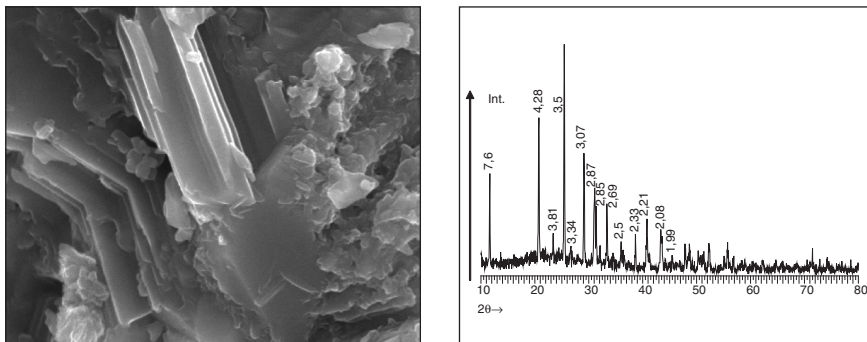


Рис. 4. Микроструктура ангидритовой матрицы при 25000-кратном (а), рентгенограмма ангидритовой матрицы в полистиролбетоне (б)

мой прочностью в проектном возрасте. Одним из условий формирования более прочных контактов в данной системе является создание промежуточных слоев из тонких пленок, обеспечивающих хорошую адгезию [8, 9] полистирольных гранул к вяжущей матрице посредством применения поверхностно-активных добавок. При проведении экспериментов в качестве такой добавки использовалась смола древесная омыленная (СДО) в количестве 0,3%. Кроме того, СДО выступает в качестве пластифицирующей и воздухововлекающей добавки, способствуя улучшению удобоукладываемости смеси и повышению пористости ангидритовой матрицы (рис. 3, а).

Дополнительная поризация ангидритовой матрицы в составе пенополистирольной бетонной смеси достигается за счет химического взаимодействия активатора твердения с компонентами фторангидрита, обеспечивая вспучивание ангидритовой матрицы (рис. 3, б). При этом отмечается снижение средней плотности, повышение паро- и газопроницаемости и улучшение адгезии органического заполнителя с минеральной матрицей.

Изучение микроструктуры полистиролбетона на ангидритовом вяжущем на поляризационном микроскопе МИН-8 показало, что микроструктура его характеризуется хорошей адгезией ангидритовой матрицы к вспененным полистироль-

ным гранулам и базальтовому волокну (рис. 3, в).

Анализ микроструктуры под растровым электронным микроскопом EVO 50 показал в ангидритовой матрице наличие кристаллических новообразований традиционной структуры с пластинчатым гипсом и наличием аморфной фазы (рис. 4, а). Присутствие двухводного гипса подтверждается рентгенофазовым исследованием ангидритового бетона (рис. 4, б).

Как видно из рентгеновского спектра в ангидритовой матрице наряду с отражениями ангидрита  $\text{CaSO}_4$  ( $d_{\alpha}, \text{Å} = 3,50; 2,85; 2,33$ ) присутствуют сильные отражения, соответствующие двухводному гипсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $d_{\alpha}, \text{Å} = 7,60; 4,28; 3,07; 2,87; 2,69; 2,21$ ).

Механические испытания образцов с размерами  $100 \times 100 \times 100$  мм показали среднюю плотность  $690 \text{ кг/м}^3$ , прочность при сжатии до  $1,86 \text{ МПа}$ . Водопоглощение полистиролбетона при этом не превышало 8%, коэффициент размягчения составил 0,68. Анализ водородного показателя среды в свежеприготовленной полистиролбетонной смеси показал величину  $\text{pH} > 11$ , что предопределяет возможность использования для армирования стальной арматуры в полистиролбетоне.

Учитывая, что каждая гранула пенополистирола покрыта ангидритовой матрицей, следует ожидать отсутствия химической деструкции поли-

стирола в процессе длительной эксплуатации полистиролбетона и повышение его пожарной безопасности вследствие выделения двухводным гипсом при термическом воздействии паров воды.

Таким образом, полученный легкий бетон имеет марку по плотности 700, обладает хорошей паро- и газопроницаемостью, пожаробезопасен, предотвращает деструкцию полистирола при эксплуатации и имеет достаточную прочность для приготовления изделий в виде теплоизоляционных плит и блоков.

Таким образом, использование фторангидрита в качестве вяжущей матрицы в полистиролбетоне позволяет существенно снизить стоимость получаемого материала за счет исключения дорогостоящего порландцемента из состава композита и улучшить экологическую обстановку в местах расположения отвалов.

Установлено, что газ, выделяющийся в следствие химического взаимодействия активатора твердения с компонентами фторангидрита, обеспечивает вспучивание растворной смеси ангидритового вяжущего и обеспечивает снижение средней плотности и повышение адгезии органических заполнителей с минеральной матрицей.

Введение в состав полистиролбетона рубленного базальтового волокна позволяет улучшить его физико-технические свойства.

Применение пластифицирующей и воздухововлекающей добавки в виде смолы древесной омыленной позволило улучшить сцепление пенополистирольных гранул с ангидритовой матрицей.

Полученный легкий бетон имеет марку по плотности 700, обладает хорошей паро- и газопроницаемостью, пожаробезопасен, предотвращает деструкцию полистирола при эксплуатации, обеспечивает коррозионную стойкость стальной арматуры в изделиях и имеет достаточную прочность для производства изделий в виде теплоизоляционных плит и блоков.

**Список литературы**

1. Будников П.П., Зорин С.П. Ангидритовый цемент. Гос. издательство литературы по строительным материалам. М.: 1954. 92 с.
3. Журба О.В. Легкие бетоны на основе регенерированного пенополистирольного сырья. Автореферат дисс... канд. техн. наук. Улан-Удэ, 2007. 18 с.
4. Ходжаев Н., Яковлев Г.И., Тулганов Б., Низамова Ю., Алиев А. Теплоизоляционный пеноарболит // Тезисы докладов межвузовской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых «Теплоизоляционные строительные материалы: состояние и развитие». Ташкент–Самарканд. 2007. С. 159–172.
5. Plechanova T.A., Kerien Ja., Gailius A., Yakovlev G.I. Structural, physical and mechanical properties of modified wood-magnesia composite. Construction and Building Materials, Vol. 21, Is. 9, 2007, pp. 1833–1838.
6. Звездов А.И., Ярмаковский В.Н. Легкие бетоны нового поколения в современном строительстве. // Строительный эксперт. 2005. № 16.
7. Laukaitis A., Zuraikas R., Keriene J. The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties // Cement & Concrete Composites. 2005. № 27. p. 41–47.
8. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смигла В.П. Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973. 278 с.
9. Журба О.В., Архинчеева Н.В., Щукина Е.Г., Константинова К.К. К вопросу об адгезии цемента к пенополистиролу. // Сборник докладов Международной научно-практической интернет-конференции «Проблемы и достижения строительного материаловедения». Белгород. 2005. С. 74–77.