

В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук, И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, канд. геол.-мин. наук, А.В. МАКСАКОВ, инженер (alvimax@intbel.ru), Л.Н. СОЛОВЬЕВА, канд. техн. наук, Ю.Н. ОГУРЦОВА, инженер (lora80@list.ru), Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## Экспресс-метод определения активности кремнеземного сырья для получения гранулированного наноструктурирующего заполнителя

Основными направлениями развития строительной отрасли России в настоящий момент являются расширение производства эффективных материалов и изделий для малоэтажного и индивидуального жилищного строительства с использованием местных строительных материалов и энергосберегающих технологий [1, 2]. Важным направлением развития подотрасли производства изделий из легких бетонов остается расширение сырьевой базы и исключение высокотемпературных этапов производства легких заполнителей.

Ранее был разработан гранулированный наноструктурирующий заполнитель (ГНЗ) пролонгированного действия на основе кремнеземного сырья без высокотемпературной обработки как самого заполнителя, так и бетона на его основе [3, 4]. Также исследована возможность использования данного заполнителя для получения силикатных автоклавных материалов [5, 6].

Цель настоящей работы – разработка экспресс-метода определения эффективности применения сырья для получения ГНЗ.

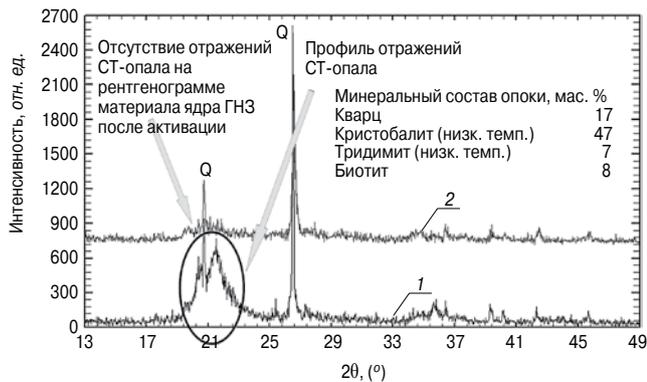
Анализ запасов кремнеземного сырья различного генетического типа на территории РФ показал, что общие запасы преимущественно аморфизованных кремнеземных пород осадочного и эффузивного происхождения составляют более 1 млрд т [7–9]. Были исследованы: опока Алексеевского месторождения (Мордовия); диатомитовый порошок Diasil (ГК «Diamix», Ульянов-

ская обл.); вспученный перлитовый песок (ООО «Бенто-пром», Белгородская обл.); трепел Фокинского месторождения (Брянская обл.); перлит Мухор-Талинского месторождения (Бурятия); трепел месторождения Стальное (Беларусь); опока Коркинского месторождения (Челябинская обл.). Для сравнения был использован гидроксид кремния. В ходе исследования помимо кремнеземных пород также были использованы глинистые, что объясняется присутствием глинистых минералов в виде примесей в кремнеземных породах, а также зола-унос ТЭЦ.

В качестве интегральной характеристики оценки свойств кремнеземного сырья использован коэффициент активности. Для определения коэффициента активности был разработан экспресс-метод.

Высушенную навеску кремнеземного сырья, измельченного до прохождения через сито с диаметром ячеек 0,315 мм, помещали в коническую колбу. Туда же заливали предварительно приготовленный раствор NaOH. Для метода была выбрана концентрация щелочи 30%, так как при дальнейшем увеличении количества щелочи у модельной системы – гидроксида кремния увеличения количества прореагировавшего вещества не происходило. Колбу плотно закрывали притертой пробкой, чтобы исключить проникновение воздуха. Полученную суспензию перемешивали на встряхивающем столике в течение 10 мин, после чего подвергали тепловой обработке в течение 2 ч при 90°C в пропарочной камере или закрытой

| Сырье   | $K_A$ , % | Силикатный модуль | Рациональное количество щелочи |
|---|-----------|-------------------|--------------------------------|
| Гидроксид кремния   | 76        | 4,11              | 28,50                          |
| Опока Алексеевского месторождения (Мордовия)                | 40,5      | 2,92              | 20,05                          |
| Диатомитовый порошок Diasil (ГК «Diamix», Ульяновская обл.) | 40,1      | 2,89              | 19,85                          |
| Трепел Фокинского месторождения (Брянская обл.)             | 39,2      | 2,82              | 19,4                           |
| Опока Коркинского месторождения (Челябинская обл.)          | 25,4      | 1,83              | 12,57                          |
| Каолин обогащенный (ОАО «Рифей», Челябинская обл.)          | 16,3      | 1,17              | 8,07                           |
| Вспученный перлит (ООО «Бентопром», Белгородская обл.)      | 15,6      | 1,12              | 7,72                           |
| Трепел месторождения Стальное (Беларусь)                    | 12,1      | 0,87              | –                              |
| Перлит Мухор-Талинского месторождения (Бурятия)             | 8,4       | 0,61              | –                              |
| Обсидиан Гюмушского месторождения (Армения)                 | 7,8       | 0,56              | –                              |
| Монтмориллонит Гумбрского месторождения (Грузия)            | 6         | 0,43              | –                              |
| Зола-унос Новотроицкой ТЭЦ (Оренбургская обл.)              | 4,5       | 0,32              | –                              |



Изменение фазового состава ядра ГНЗ до (1) и после ТВО (2) на примере опоки (Республика Мордовия): СТ – кристаллит-тридимитовые опалы; Q – кварц

водяной бане. Термообработанную суспензию фильтровали, минеральный остаток трижды промывали дистиллированной водой, затем высушивали до постоянной массы и взвешивали. Определяли количественный химический состав отфильтрованной жидкости. Чтобы избежать нарушения гидратации цемента, параллельно проводили расчет силикатного модуля образующихся растворов полисиликатов.

Коэффициент активности определяли по формуле:

$$K_A = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

где  $K_A$  – коэффициент активности кремнеземного сырья, %;  $m_1$  – масса исходного кремнеземного сырья, г;  $m_2$  – масса высушенного минерального остатка, г.

По разработанному экспресс-методу было проанализировано сырье различного генетического типа. На основании результатов проведено ранжирование кремнеземного сырья по степени снижения коэффициента активности и силикатного модуля (см. таблицу).

Применение разработанного экспресс-метода определения активности кремнеземного сырья позволило ранжировать последнее по величине коэффициента активности на высокоактивное 51–100%, активное 21–50%, малоактивное 5–20%.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что осадочные хемо- и биогенные кремнеземные породы с низкой степенью диагенетических преобразований, представленные в своей основе СТ-опалами (низкотемпературные наноразмерные модификации тридимита и кристаллита), – диатомит, трепел и опока характеризуются наиболее высокой активностью. Факторами снижения активности кремнеземного сырья следует считать присутствие высокотемпературных модификаций и значительные концентрации кристаллизованного кремнезема. Как видно из полученных результатов, силикатный модуль образующегося раствора полисиликатов зависит от  $K_A$  сырья, который, в свою очередь, определяется содержанием кристаллит-тридимитовых опаловидных компонентов. Следует отметить, что с уменьшением  $K_A$ , а следовательно, и силикатного модуля количество щелочи в составе ядра ГНЗ должно быть снижено для сохранения допустимого значения силикатного модуля.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны следующие требования к кремнеземному сырью для изготовления ГНЗ, используемого в бетоне, твердеющего при тепловлажностной обработке: – коэффициент активности кремнеземного сырья должен быть не менее 15%; – силикатный модуль образующихся полисиликатов должен быть не менее 1, при меньших его значениях

цементный камень будет обладать низкой прочностью и водостойкостью.

На основе опоки Алексеевского месторождения (Мордовия) с учетом рекомендуемого количества щелочи в составе ядра был получен ГНЗ. Результаты определения изменения минерального состава ядра ГНЗ до и после тепловлажностной обработки со щелочью по данным РФА (см. рисунок) свидетельствуют, что опока Алексеевского месторождения, характеризующаяся наибольшим коэффициентом активности из исследованного природного кремнеземного сырья, представлена в своей основе низкотемпературными наноразмерными модификациями тридимита и кристаллита.

Таким образом, с использованием разработанного экспресс-метода определения активности кремнеземных компонентов как сырья для получения ГНЗ и требований к их составу, а также к количеству щелочи в составе ядра ГНЗ становится возможным рациональный выбор исходного сырья, достижение максимального количества прореагировавшего кремнеземного вещества в процессе тепловлажностной обработки бетона, следовательно, повышение степени его пропитки полисиликатами натрия.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации: соглашение 14.132.21.1702; программа стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

**Ключевые слова:** легкий бетон, гранулированный наноструктурирующий заполнитель, кремнеземное сырье, активность.

#### Список литературы

1. Житомирская Е. Кризис осложнил развитие рынка многоэтажного домостроения // Технологии бетонов. 2009. № 7/8. С. 12–15.
2. Белкин А.Н., Гольцов И.Н., Филиппов Е.В. Экодом: энергоэкономичность и экологичность // Строительные материалы. 2011. № 7. С. 40–43.
3. Лозовая С.Ю., Строкова В.В., Соловьева Л.Н., Гринев А.П., Огуцова Ю.Н. Прогнозирование свойств конструкционно-теплоизоляционного бетона на основе гранулированного наноструктурирующего заполнителя // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 15–19.
4. Строкова В.В., Соловьева Л.Н., Максаков А.В., Огуцова Ю.Н. Механизм структурообразования строительных композитов с гранулированным наноструктурирующим заполнителем пролонгированного действия // Строительные материалы. 2011. № 9. С. 64–65.
5. Лесовик В.С., Мосьпан А.В. Прессованные силикатные изделия на гранулированных заполнителях // Известия КГАСУ. 2012. № 3 (21). С. 144–150.
6. Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Беленцов Ю.А. Силикатные изделия на гранулированных заполнителях для сейсмостойкого строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 62–65.
7. Баранова М.Н., Коренькова С.Ф., Чумаченко Н.Г. История освоения кремнистых пород // Строительные материалы. 2011. № 8. С. 4–6.
8. Никифоров Е.А., Логанина В.И., Симонов Е.Е. Влияние щелочной активации на структуру и свойства диатомита // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 30–32.
9. Магдеев У.Х., Хардаев П.К. Эффективные бетоны на основе эффузивных пород // Технологии бетонов. 2008. № 4. С. 50–52.