

## 1.1 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

**Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Наваретте Велос Ф.А., Трунов П.В.**  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г.Белгород, РФ)

*Проведен комплексный анализ вулканического пепла Эквадора. Показана эффективность его использования в качестве кремнеземистого компонента композиционных вяжущих.*

За последние годы на территории Эквадора значительно увеличилась вулканическая активность. Ежегодные объемы продуктов вулканической деятельности исчисляются сотнями миллионов тонн и как результат, это приводит к нарушению экологической обстановки в регионе. Данное сырье в большинстве случаев складировается на поверхности, образуя техногенные месторождения, которые в свою очередь пылят, занимают значительные площади и т.д. И в тоже время в Эквадоре возросла потребность в строительстве жилья, что в свою очередь привело к необходимости увеличить объемы производства строительных материалов. Горнодобывающая промышленность не может обеспечить возрастающую потребность стройиндустрии в сырье.

Разработка принципов рационального использования вулканического сырья как компонента композиционного вяжущего позволит существенно расширить сырьевую базу промышленности строительных материалов Эквадора а так же снизить нагрузку на окружающую среду [1].

Исследованы пирокластические породы Эквадора на примере вулканических пеплов двух видов месторождения Риобамба, в которых наряду с аморфной фазой выделяют следующие минералы (таблица 1).

Таблица 1 – Минералогический состав вулканических пеплов

| вид пепла | минерал, % |            |         |          |         |       |
|-----------|------------|------------|---------|----------|---------|-------|
|           | Альбит     | Анортоклаз | Андезин | Ортоклаз | Анортит | Кварц |
| Пепел № 1 | 34,5       | 10,4       | 11,3    | 7,8      | 31      | 5     |
| Пепел № 2 | 30,7       | 9,2        | 11,8    | 7,3      | 39      | 2     |

В связи с необходимостью оценки пригодности исследуемых пород для производства композиционных вяжущих (КВ) были проведены исследования по определению их качества как кремнеземистого компонента КВ [2].

Исследования проводились на ТМЦ-50 с удельной поверхностью  $\approx 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ , в качестве кремнеземсодержащего компонента использовались вулканические пепел двух видов. В качестве эталонного кремнеземистого компонента использовался песок Вольского месторождения. Качественный анализ пород месторождения Риобамба как компонента композиционных

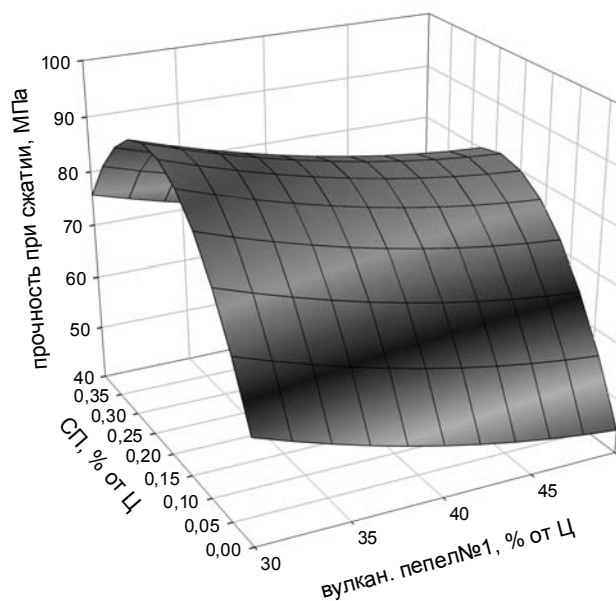
Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

вяжущих показал, что, в сравнении с эталонным песком Вольского месторождения, исследуемые породы обладают более высоким коэффициентом качества (пепел №1 – 1,29, пепел №2 – 1,15) и могут быть использованы для производства эффективных композиционных вяжущих. Данный факт объясняется тем, что полидисперсный состав исследуемых пород способствует образованию более плотной структуры композита, а развитость поверхности обеспечит лучшее сцепление с цементным камнем, что в свою очередь положительно отражается на физико-механических характеристиках конечного изделия [3].

Проведен комплекс исследований по разработке рецептурно-технологических параметров композиционного вяжущего. Для разработки оптимального состава композиционного вяжущего использовалась методика математического планирования эксперимента.

Полученные номограммы дают возможность выявить закономерности при изменении значения каждого фактора. По данным, полученным из номограмм можно сделать вывод, что оптимальным является состав с содержанием вулканического пепла 30 % и суперпластификатора Melflux 1641 F – 0,25 % от массы вяжущего (рисунок 1).

а)



б)

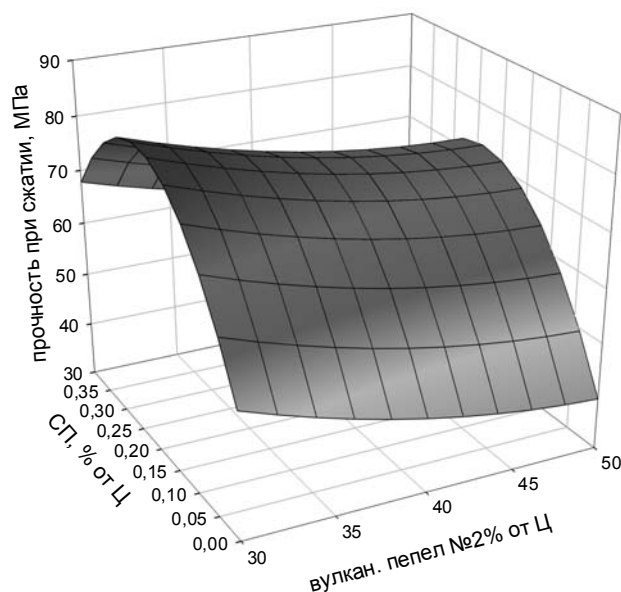


Рисунок 1 – Зависимость предела прочности на сжатие композиционного вяжущего на основе вулканического пепла № 1(а) и пепла №2(б) от количества кремнеземистого компонента и расхода суперпластификатора Melflux 1641 F

Анализ результатов сравнения гранулометрического состава ВНВ–70 на пирокластических породах и песке Вольского месторождения показал, что кривые распределения одномодальные и имеют не значительные различия, при одинаковой удельной поверхности вяжущего (рисунок 2).

Наибольшее количество частиц у всех вяжущих соответствует размерам 16,3–20 мкм. При этом ВНВ–70 на вулканическом пепле отличается небольшим

смещением частиц в сторону меньших значений, а ВНВ–70 на песке Вольского месторождения смещением частиц в сторону больших значений.

В целом, исходя из анализа гранулометрического состава можно предположить, что различия активности композиционных вяжущих обусловлены не гранулометрией, а качественными показателями кремнеземсодержащего компонента.

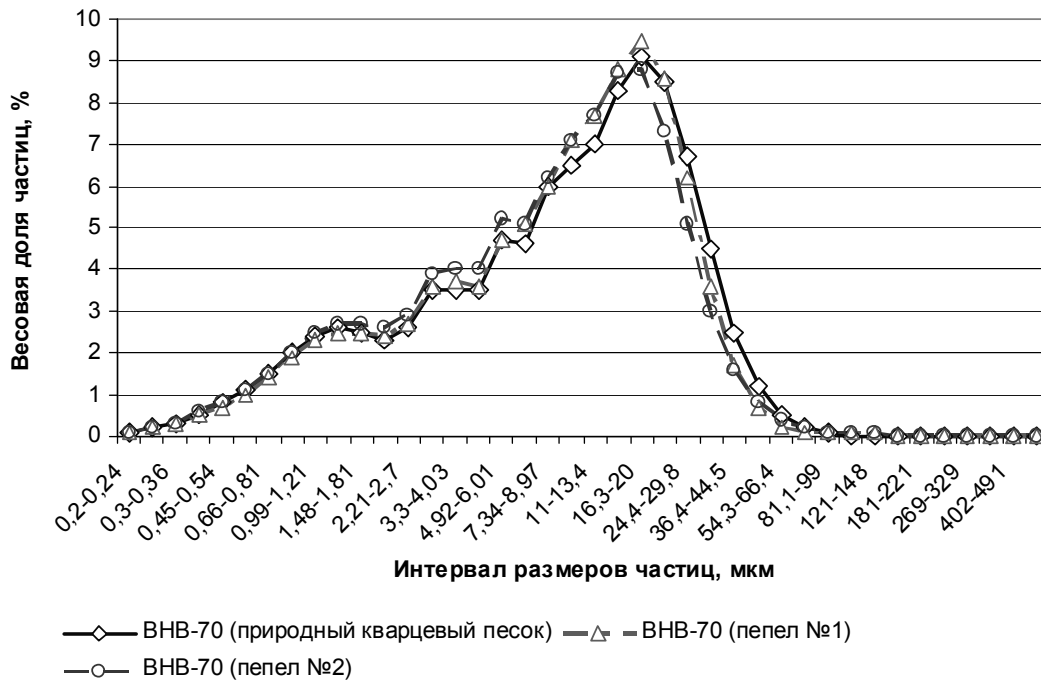


Рисунок 2 – Сравнение распределения частиц по размерам ВНВ–70 на вулканическом пепле Эквадора и природном кварцевом песке

#### Заключение

Таким образом, установлена возможность расширения сырьевой базы промышленности строительных материалов Эквадора за счет рационального использования пирокластических пород, применение которых позволит экономить до 50% клинкерной составляющей без снижения активности вяжущего, а так же существенно снизить нагрузку на окружающую среду.

#### Список литературы

1. Наваретте Велосс, Ф.А. Эффузивные породы Эквадора как сырье для производства строительных материалов // Ф.А. Наваретте Велосс, А.Ф. Щеглов / Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2007. – № 4. – С. 17 – 18.
2. Лесовик, Р.В. К проблеме использования техногенных песков для производства мелкозернистых бетонов и изделий на их основе// Р.В. Лесовик / Строительные материалы. – 2007. – № 9. – Приложение «Наука». – № 10. – С. 13 – 15.
3. Алфимова Н.И. О перспективах использования вулканического пепла для производства композиционных вяжущих // Н.И Алфимова, П.В. Трунов, Ф.А. Наваретте Велосс / Материалы юбилейной международной научно-практической конференции «Строительство 2009». – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 16–18 апреля 2009.– С. 161–162.

## 1.2 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АРБОЛИТА

Васюнина С.В. (БГИТА, г. Брянск, РФ)

*Рассмотрены вопросы по улучшению свойств арболита комплексными добавками.*

Одним из недостатков арболита является низкая прочность, вызванная экстрактивными веществами древесного заполнителя, замедляющими процесс его твердения [3].

Целью работы являлось повышение эффективности арболита с помощью комплексных добавок ускорителей твердения.

Для приготовления арболитовой смеси использовалось следующее сырье: цемент марки ПЦ 400 – Д20 ОАО “Мальцовский портландцемент”, дробленка сосновая, вода.

Для повышения прочности арболита были исследованы различные виды добавок – ускорителей твердения.

Добавки – ускорители твердения в зависимости от механизма действия ускоряют процесс гидратации вяжущего или затормаживают действие экстрактивных веществ органического древесного заполнителя.

Влияние ускорителей твердения оценивалась по пределу прочности при сжатии образцов-кубов, изготовленных из арболитовой смеси с добавками, (2%):  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (таблица 1). Образцы испытывались через 3, 7, 14 и 28 суток твердения в соответствии с ГОСТ 19222 “Арболит и изделия из него”. Расход компонентов составил: цемент марки ПЦ 400 – Д20 ОАО “Мальцовский портландцемент” - 390 кг; дробленка сосновая – 250 кг; вода - 460 л.

Таблица 1 - Зависимость предела прочности при сжатии в различные сроки твердения и водопоглощения арболита от вида добавки - ускорителя твердения

| Наименование добавки       | Водопоглощение, % | Предел прочности при сжатии, МПа, через суток |      |      |      |
|----------------------------|-------------------|---|------|------|------|
|                            |                   | 3   | 7    | 14   | 28   |
| Без добавок                | 64                | 0,95  | 1,65 | 2,12 | 2,66 |
| $\text{CaCl}_2$            | 50                | 1,19  | 1,69 | 2,73 | 3,51 |
| $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | 55                | 1,18  | 2,43 | 2,69 | 3,47 |
| $\text{Na}_2\text{SO}_4$   | 53                | 1,32  | 2,18 | 2,62 | 3,45 |
| $\text{NH}_4\text{Cl}$     | 51                | 1,26  | 1,49 | 2,81 | 3,71 |
| $\text{NH}_4\text{NO}_3$   | 54                | 1,25  | 1,37 | 2,12 | 2,93 |

Как видно из экспериментальных данных, наилучшие результаты получены при использовании добавок 2%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и 2%  $\text{CaCl}_2$ .

Для снижения водопоглощения арболита применялась добавка нефтяного шлама. Нефтяной шлам является отходом нефти и нефтепереработки, накапливаемый в шламонакопителях и отстойниках, и представляет собой

**Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии**

сложные смеси нефтепродуктов (30-50%), воды (40-50%), взвешенных веществ, различных механических примесей (13-22%) [1,2].

Нефтяной шлам содержит те же функциональные группы, что и жидкий битум, но в другом соотношении. В нефтяном шламе меньше смол (в 1,5-3 раза), асфальтенов (в 5-10 раз) и масел (в 1,5 раза). В то же время он содержит большее количество легких фракций, что является причиной низкой вязкости, поэтому он хорошо распределяется на поверхности древесного заполнителя, пропитывая частицы заполнителя, и перемешивается с ним. Результаты исследований комплексных добавок – ускорителей твердения и нефтяного шлама представлены в таблице. 2.

Таблица 2 - Зависимость предела прочности при сжатии в различные сроки твердения и водопоглощения арболита от вида комплексной добавки (ускоритель твердения 2% + нефтяной шлам 7%)

| Наименование добавки                   | Водопоглощение, % | Предел прочности при сжатии, МПа, через суток |      |      |      |
|--|-------------------|---|------|------|------|
|  |                   | 3   | 7    | 14   | 28   |
| Без добавок                            | 64                | 0,95  | 1,65 | 2,12 | 2,66 |
| CaCl <sub>2</sub> + НШ                 | 32                | 2,13  | 2,99 | 4,12 | 5,56 |
| NH <sub>4</sub> Cl +НШ                 | 33                | 2,08  | 2,98 | 4,02 | 5,36 |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +НШ    | 34                | 2,03  | 2,88 | 4,01 | 5,23 |
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + НШ | 37                | 1,98  | 2,85 | 4,03 | 4,07 |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> +НШ    | 37                | 1,74  | 2,14 | 3,53 | 3,94 |

Примечание: НШ – нефтяной шлам

Введение в арболитовую смесь комплексных добавок способствует значительному ускорению процессов твердения арболита и повышению его класса по прочности с 2,5 до 3,5. Наилучшие результаты были получены для добавки CaCl<sub>2</sub> и нефтяного шлама. Близкие к ней по значениям прочности и водопоглощения являются комплексные добавки с NH<sub>4</sub>Cl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Наличие большого числа полярных групп нефтяного шлама способствует образованию тонкой нефтяной пленки на поверхности древесного заполнителя и блокированию легкогидролизуемых сахаров. Кроме того нефтяной шлам кальматрирует поры древесного заполнителя и придает ему и арболиту гидрофобные свойства, что приводит к снижению водопоглощения в 1,7- 2 раза.

Для установления оптимального состава арболита на дробленке из сосны, нефтяного шлама и CaCl<sub>2</sub> использовался метод математического планирования эксперимента путем реализации плана второго порядка для трёх факторов, в качестве которых были приняты следующие:

1. Содержание добавки – ускорителя твердения CaCl<sub>2</sub> (x<sub>1</sub>).
2. Содержание нефтяного шлама (x<sub>2</sub>).
3. Содержание древесной дробленки (x<sub>3</sub>).

Математическая обработка экспериментальных данных проводилась по программе в Microsoft Exell. В качестве исследуемых характеристик арболита были определены следующие: предел прочности при сжатии через 3 и 28 суток твердения и водопоглощение.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Таблица 3 - Значения факторов и соответствующие им варьируемые уровни

| Факторы                         |                     | Уровни варьирования |     |     | Интервал варьирования |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|-----|-----|-----------------------|
| В натуральном виде              | В кодированном виде | +1                  | 0   | -1  |                       |
| CaCl <sub>2</sub> , %           | x <sub>1</sub>      | 5                   | 3   | 1   | 1                     |
| Нефтяной шлам, %                | x <sub>2</sub>      | 10                  | 6   | 2   | 2                     |
| Древесная дробленка (сосна), кг | x <sub>3</sub>      | 200                 | 275 | 350 | 25                    |

Таблица 4 - Уровни варьирования и экспериментальные значения

| № п/п | Уровни варьирования |                |                |                    |                |                | Экспериментальные значения |                |                |
|-------|---------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------|
|       | в кодированном виде |                |                | в натуральном виде |                |                |                            |                |                |
|       | x <sub>1</sub>      | x <sub>2</sub> | x <sub>3</sub> | x <sub>1</sub>     | x <sub>2</sub> | x <sub>3</sub> | У <sub>1</sub>             | У <sub>2</sub> | У <sub>3</sub> |
| 1     | -                   | -              | -              | 1                  | 2              | 200            | 1,47                       | 3,8            | 38             |
| 2     | +                   | -              | -              | 5                  | 2              | 200            | 2,02                       | 4,2            | 36             |
| 3     | -                   | +              | -              | 1                  | 10             | 200            | 1,95                       | 4,6            | 32             |
| 4     | +                   | +              | -              | 5                  | 10             | 200            | 2,10                       | 6,2            | 31             |
| 5     | -                   | -              | +              | 1                  | 2              | 350            | 1,51                       | 4,1            | 35             |
| 6     | +                   | -              | +              | 5                  | 2              | 350            | 2,07                       | 5,3            | 33             |
| 7     | -                   | +              | +              | 1                  | 10             | 350            | 1,97                       | 5,1            | 32             |
| 8     | +                   | +              | +              | 5                  | 10             | 350            | 2,14                       | 6,8            | 30             |

Уравнения регрессии предела прочности при сжатии через 3 суток (y<sub>1</sub>) и 28 суток (y<sub>2</sub>) в МПа имеют следующий вид:

$$y_1 = 1,90375 + 0,17875x_1 + 0,13875x_2 + 0,01875x_3 + 0,001723x_1x_2 + 0,00091x_1x_3 + 0,0000015x_1x_2x_3;$$

$$y_2 = 5,0125 + 0,6125x_1 + 0,6625x_2 + 0,3125x_3 + 0,001476x_1x_2 + 0,00061x_1x_3 + 0,0000023x_1x_2x_3;$$

водопоглощения (y<sub>3</sub>), %:

$$y_3 = 33,375 - 0,875x_1 - 2,125x_2 - 0,875x_3 - 0,0021x_1x_2 - 0,00035x_1x_3 - 0,0000034x_1x_2x_3.$$

Анализ уравнений показывает, что прочность арболита в первую очередь зависит от содержания хлорида кальция и нефтяного шлама, в то время как водопоглощение - от содержания нефтешлама, придающего ему гидрофобные свойства.

Оптимальный состав арболита средней плотности 650 кг/м<sup>3</sup> принят следующий: ПЦ 400 Д-0 – 380 кг, дробленка из сосны – 230 кг, вода – 450 л, CaCl<sub>2</sub> - 2%, нефтяной шлам – 7%. Предел прочности при сжатии арболита через 28 суток твердения составил 5,6 МПа, водопоглощение – 29%, коэффициент теплопроводности – 0,132 Вт/м<sup>0</sup>.С, морозостойкость – F50 [2].

### Заключение

Установлено, что комплексная химическая добавка в арболит, состоящая из нефтяного шлама 7% и хлорида кальция 2% за счет образованию тонкой нефтяной пленки на поверхности древесного заполнителя и блокирования легкогидролизующих сахаров из заполнителя в цементное тесто, приводит к повышению прочности и улучшению гидрофизических свойств.

### Литература

1 Васюнина, С.В., Лукутцова, Н.П. Использование отходов органического происхождения загрязненных цезием-137 при производстве древесно-цементных композиционных материалов. Экол. безопасность региона: сб. статей междунаро. науч.-практ. конф.- Брянск, 2008.- С.83-87.

2 Васюнина, С.В. Строительные материалы с пониженной радиоактивностью. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Брянск. Изд-во: БГИТА, 2007. – С. 24.

3 Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно – цементной композиции. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.

### **1.3 МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА ОГРАЖДАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СБОРНО-МОНОЛИТНОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА**

**Гегерь В.Я., Федоренко Е.А. (БГИТА, г.Брянск, РФ)**

*Авторами рассматривается методика экспериментального расчета теплофизических свойств керамзитобетона для применения в сборно-монолитном строительстве. Исследования направлены на повышение качества наиболее востребованной продукции стройиндустрии – конструктивного керамзитобетона. За основу исследований принят сборно-монолитный вариант из керамзитобетона.*

Одной из главных проблем современного строительства является обеспечение теплофизических свойств здания. В основе этих требований находятся их базовые характеристики: термическое сопротивление ограждающего элемента, ее влажность и структура. Взаимосвязь этих показателей является преобладающей при оценке их качества. Эти определители выбраны как параметры метрологического обеспечения измерений.

Целью исследований является проведение и анализ теплофизических параметров керамзитобетона, а также установление формата использования этих свойств применительно к ограждающим элементам для сборно-монолитного строительства жилых домов.

Основной задачей исследований является реализация разработанной методики метрологического обеспечения измерений при оценке теплофизических свойств керамзитобетона.

Авторами работы представлены расчеты показателей однородности по плотности пограничного слоя керамзитобетонной смеси 30 мм и более.

В расчетной части авторами предусмотрено определение влажности ограждающих элементов. Эти показатели формируют качество керамзитобетона в рассматриваемых элементах.

Характеристика показателей влажности необходима для обеспечения преобразования полученных сигналов измерителя влажности ВИМС-2.1. Значения этих данных дополняются параметрами влажности, рассчитываемой по формуле

$$W = A_0 + A_1T + A_2T^2 + A_3T^3, \quad (1)$$

где  $T$  – значение сигнала датчика;

$A_0, A_1, A_2, A_3$  – коэффициенты преобразования (градуировочные коэффициенты параметров).

Применяемая предельная глубина уплотнения согласовывается с проникновением высокочастотного поля. Таким образом, авторами учтено влияние влажности и поверхностной плотности объекта обследования.

В данных исследованиях авторами учтена возможная анизотропия керамзитобетонной смеси, которая зависит от показателя однородности по плотности.

Это получаемое значение, как параметр измерения, определяется с помощью серийно выпускаемых приборов типа “ТИСС”, имеющих соответствующие датчики, а также расчетные значения применительно к сцинтилляционным детекторам.

Параметр однородности средней плотности определяется по зависимости

$$\rho = \frac{\ln I_0 \cdot \ln I_\phi}{\mu_M \cdot D}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность поверхностного слоя, обеспечивающая качественное измерение;

$I_0$  – первоначальная интенсивность радиоизотопного источника в приборе К-60 или Cs – 137;

$I_\phi$  – фактическая интенсивность, полученная после взаимодействия  $\gamma$  - излучения с объектом обследования;

$\mu$  – массовый коэффициент поглощения;

$D$  – линейный участок, на котором интенсивность облучения объекта уменьшается в 2,718 раза.

Полученные результаты обрабатываются методами математической статистики с применением базовых программ, рекомендованных в техническом паспорте на прибор (измеритель влажности модификации ВИМС-2.1).

Таким образом, приборная реализация метрологического обеспечения измерений оценивает влажность керамзитобетона от 20 до 40 %, что создает условия для последующего применения при возведении сборно-монолитных



зданий из керамзитобетона с регулируемым показателем по удобоукладываемости.

Используемая измерительная система позволяет реализовывать возможности прибора ВИМС-2.1 по накопительной информации. При этом авторы считают, что диэлектрическую проницаемость воды, как наиболее представительного параметра, в данной схеме измерения можно использовать для реализации в методике расчета теплофизических характеристик для конструктивного керамзитобетона.

Предлагаемая методика основывается на следующих исходных данных:

- зона влажности для конкретного района в формате эксплуатации ограждающих конструкций в данном регионе;
- требуемое сопротивление теплопередачи  $R_0^{TP}$  ограждающей конструкции.

В дальнейшем для выбора толщины стены ограждающих элементов, при использовании однослойной ограждающей конструкции, применяется формула

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – толщина стены;

$\lambda$  – расчетный коэффициент теплопроводности.

Тепловая инерция  $D$  ограждающей конструкции рассчитывается по формуле

$$D = R \cdot S, \quad (4)$$

где  $S$  – расчетный коэффициент теплоусвоения керамзитобетона.

Сопротивление теплопередачи ограждающих элементов зависит от положения наружной поверхности ограждающего элемента по отношению к наружному воздуху и может быть рассчитан по формуле

$$R_0^{TP} = \frac{n(t_B - t_H)}{\Delta t^H \cdot \alpha_B}, \quad (5)$$

где  $n$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху;

$t_B$  – расчетная температура внутреннего воздуха;

$t_H$  – расчетная температура наружного воздуха;

$\Delta t^H$  – нормативный температурный перепад между температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции;

$\alpha_B$  – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Для обеспечения нормального влажностного режима рассматриваемого элемента и исходя из требований недопустимости конденсации водяных паров на внутренней поверхности ограждения, необходимо чтобы температура этой поверхности была ниже точки росы.

Авторы рассматривают температуру внутренней поверхности и подтверждают его расчетами

$$\tau = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0 \cdot \alpha_B}, \quad (6)$$

где  $t_B$  – расчетная температура внутреннего воздуха;  
 $t_H$  – расчетная температура наружного воздуха;  
 $\alpha_B$  – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Для более представительного получения информации рекомендуется провести математическую обработку имеющихся данных в блоке-накопителе, объем которых составляет не менее 3000 измерений.

Рекомендуемый для применения прибор позволяет сделать не только анализ данных памяти, но и сортировать ненужные результаты, имеющиеся в блоке памяти.

### Заключение

По результатам анализа проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы.

Оценка качественных показателей теплофизических свойств должна быть ориентирована на принятую международную систему, которая корреспондируется с ГОСТ Р ИСО 9000-2001.

Проведенные авторами исследования в этом направлении позволяют выявить пути повышения эффективности менеджмента в формате качества применительно к ограждающим элементам с регулируемыми теплофизическими свойствами.

Для успешной апробации и внедрения международных стандартов ИСО в формате повышения качества строительной продукции следует использовать международный опыт и отечественные исследования по этой проблеме.

### Литература

- 1 Брославский, Л.И. Правовые основы стандартизации и качества [Текст] / Л.И. Брославский. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 112 с.
- 2 ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Государственный стандарт. Системы менеджмента качества. Требования.- М.: Госстандарт России, 2001.
- 3 Полховская, Г.А. Стандартизация. Правила и порядок разработки нормативной документации в отечественной и зарубежной стандартизации: Учеб. пособие для вузов [Текст] / Т.М.Полховская, Г.А.Ртищева, Н.В.Каретникова. – М.: МИСИС, 2001. – 166 с.
- 4 Титова, Т.А. Стандартизация в технике: Учеб. пособие [Текст] / Т.А. Титова, О.А.Горленко, И.А.Стешкова.– Брянск: БГТУ, 2003. – 148 с.

## 1.4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Горностаева Е.Ю., Лукутцова Н.П. (БГИТА, г.Брянск, РФ)

*Рассмотрены вопросы получения строительных материалов на основе древесных отходов.*

В настоящее время объемы строительства достигли такого уровня, что наращивание добычи минеральных сырьевых ресурсов для этих целей наносит ощутимый ущерб окружающей среде.

В то же время в России недостаточно оценен такой неисчерпаемый запас самовозобновляемого ресурса, как древесина. Перспективным сырьем могут стать вторичные ресурсы лесодеревопереработки.

Отходы не требуют добычи и транспортировки на большие расстояния, а также сложной переработки. Использование их позволяет сохранить земельные угодья, поскольку при этом исключается необходимость разработки новых месторождений и отведения площадей под отвалы, а также способствует уменьшению загрязнения окружающей природной среды отходами промышленности.

Целью работы являлось исследование возможности получения эффективных древесно-цементных композиций с улучшенными физико-техническими показателями. В качестве древесных отходов использовались костра льна и опилки (смесь лиственных и хвойных пород деревьев).

Фракционный состав древесных отходов соответствовал требованиям ГОСТ 19222. Влажность, при высушивании древесных отходов в сушильном шкафу при температуре 35°C, составила 9,89%, насыпная плотность - 95 кг/м<sup>3</sup>.

В качестве вяжущего использовался портландцемент марки М500 – Д0, соответствующий требованиям ГОСТ 10178 и ГОСТ 22266, предъявляемым к вяжущим материалам для производства арболита.

Вода, используемая для приготовления древесно-цементных композиций, вводилась тремя способами:

- непосредственно при приготовлении замесов (температура воды составляла 20°C);
- путем обработки древесных отходов водой в течение 30 мин (температура воды составляла 97...99°C);
- путем замачивания древесных отходов в воде в течение 2 часов (температура воды составляла 20°C).

В ходе исследований были изготовлены контрольные образцы размером 150x150x150 мм. Определены такие свойства древесно-цементных композиций как средняя плотность, коэффициент теплопроводности, предел прочности при сжатии и призмная прочность (таблица 1).

**Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии**

Таблица 1 – Результаты испытаний контрольных образцов древесно-цементных композиций

| № п.п.  | Способ введения воды  | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С | Предел прочности при сжатии, МПа | Призменная прочность, МПа |
|---|---|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Древесно-цементные композиции на основе костры льна |   |                                      |                                       |                                  |                           |
| 1   | Непосредственно при приготовлении замесов (температура воды 20°С)                     | 335                                  | 0,097                                 | 0,150                            | 0,134                     |
| 2   | Путем обработки древесных отходов водой в течение 30 мин (температура воды 97...99°С) | 380                                  | 0,124                                 | 0,121                            | 0,108                     |
| 3   | Путем замачивания древесных отходов в воде в течение 2 часов (температура воды 20°С)  | 400                                  | 0,129                                 | 0,073                            | 0,065                     |
| Древесно-цементные композиции на основе опилок      |   |                                      |                                       |                                  |                           |
| 1   | Непосредственно при приготовлении замесов (температура воды 20°С)                     | 747                                  | 0,322                                 | 0,079                            | 0,071                     |
| 2   | Путем обработки древесных отходов водой в течение 30 мин (температура воды 97...99°С) | 874                                  | 0,398                                 | 0,216                            | 0,193                     |
| 3   | Путем замачивания древесных отходов в воде в течение 2 часов (температура воды 20°С)  | 928                                  | 0,430                                 | 0,675                            | 0,600                     |

Исследования показали, что при использовании в качестве заполнителя древесной композиции костры льна материал имел среднюю плотность от 335 до 400 кг/м<sup>3</sup> и прочность при сжатии – 0,073...0,15 МПа. При использовании опилок средняя плотность материала менялась от 747 до 928 кг/м<sup>3</sup> и прочность при сжатии от 0,079 до 0,675 МПа. Коэффициент теплопроводности у древесно-цементных композиций на костре льна составлял от 0,097 до 0,129 Вт/м·°С, на опилках - от 0,322 до 0,430 Вт/м·°С.

Было установлено, что способ введения воды и ее температура оказывают влияние на свойства исследуемых материалов. Так древесно-цементные композиции с применением костры льна имеют меньшую среднюю плотность и коэффициент теплопроводности, а также наибольшие значения предела прочности при сжатии и призменной прочности при введении воды непосредственно при приготовлении замесов (температура воды 20°С).

Материал, полученный на основе древесно-цементных композиций с применением опилок, имел наименьшие среднюю плотность и коэффициент теплопроводности при введении воды непосредственно при приготовлении замесов (температура воды 20°С), а прочностные показатели возрастали при замачивании опилок в течение 2 часов.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Для улучшения ряда технических показателей, как формовочных смесей, так и материалов на основе древесно-цементных композиций, применяли тонкодисперсный суперпластификатор С-3 (ТУ 6-36-020429-625) в количестве 0,5, 1,0 и 1,5% от массы цемента [1,2,3].

Добавка вводилась вместе с  $\frac{1}{3}$  части воды затворения, при этом расход воды уменьшили на 20%.

Результаты испытаний древесно-цементных композиций с применением добавки на разных древесных отходах приведены в таблице 2 и на рисунках 1-4.

Таблица 2 – Результаты испытаний древесно-цементных композиций с использованием добавки С-3

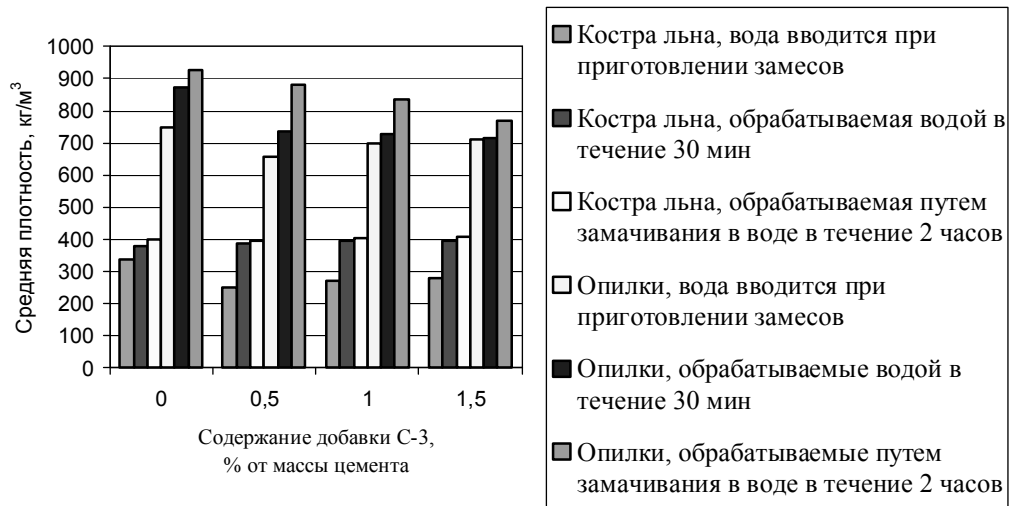
| № п.п   | Способ введения воды  | Содержание добавки С-3, % от массы цемента | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С | Предел прочности при сжатии, МПа | Призменная прочность, МПа |
|---|---|--|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Древесно-цементные композиции на основе костры льна |   |  |                                      |                                       |                                  |                           |
| 1   | Непосредственно при приготовлении замесов (температура воды 20°С)                     | 0,5  | 248                                  | 0,011                                 | 0,079                            | 0,071                     |
|   |   | 1,0  | 268                                  | 0,068                                 | 0,097                            | 0,087                     |
|   |   | 1,5  | 278                                  | 0,072                                 | 0,110                            | 0,099                     |
| 2   | Путем обработки древесных отходов водой в течение 30 мин (температура воды 97...99°С) | 0,5  | 388                                  | 0,123                                 | 0,140                            | 0,125                     |
|   |   | 1,0  | 394                                  | 0,126                                 | 0,161                            | 0,144                     |
|   |   | 1,5  | 396                                  | 0,127                                 | 0,164                            | 0,147                     |
| 3   | Путем замачивания древесных отходов в воде в течение 2 часов (температура воды 20°С)  | 0,5  | 393                                  | 0,126                                 | 0,077                            | 0,069                     |
|   |   | 1,0  | 402                                  | 0,130                                 | 0,087                            | 0,078                     |
|   |   | 1,5  | 407                                  | 0,133                                 | 0,096                            | 0,086                     |
| Древесно-цементные композиции на основе опилок      |   |  |                                      |                                       |                                  |                           |
| 4   | Непосредственно при приготовлении замесов (температура воды 20°С)                     | 0,5  | 658                                  | 0,271                                 | 0,106                            | 0,095                     |
|   |   | 1,0  | 700                                  | 0,295                                 | 0,085                            | 0,076                     |
|   |   | 1,5  | 712                                  | 0,302                                 | 0,074                            | 0,066                     |
| 5   | Путем обработки древесных отходов водой в течение 30 мин (температура воды 97...99°С) | 0,5  | 736                                  | 0,315                                 | 0,074                            | 0,066                     |
|   |   | 1,0  | 728                                  | 0,311                                 | 0,105                            | 0,094                     |
|   |   | 1,5  | 715                                  | 0,303                                 | 0,079                            | 0,071                     |
| 6   | Путем замачивания древесных отходов в воде в течение 2 часов (температура воды 20°С)  | 0,5  | 880                                  | 0,401                                 | 0,733                            | 0,651                     |
|   |   | 1,0  | 835                                  | 0,374                                 | 0,822                            | 0,729                     |
|   |   | 1,5  | 767                                  | 0,334                                 | 0,901                            | 0,535                     |

Максимальное снижение средней плотности и коэффициента теплопроводности наблюдалось при использовании добавки в количестве 0,5% от массы цемента, а максимальное увеличение предела прочности при сжатии и призменной прочности наблюдалось при введении добавки в количестве 1,5%.

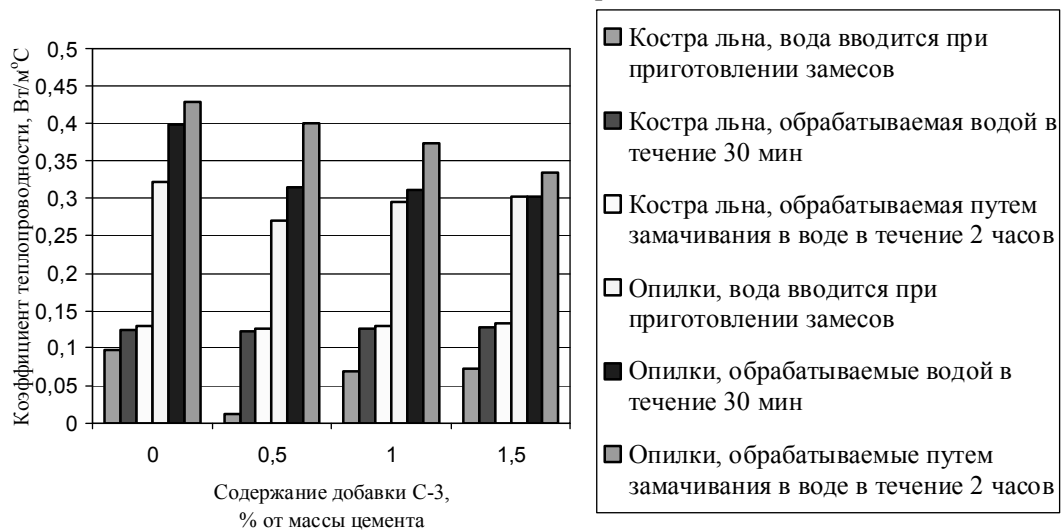
Физико-технические свойства древесно-цементных композиций на основе опилок изменялись следующим образом:

- при обработке отходов водой в течение 30 мин средняя плотность снизилась в среднем на 17%, а коэффициент теплопроводности на 22%;

**Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии**



**Рисунок 1 – Влияние содержания добавки С-3 на среднюю плотность древесно-цементных композиций на основе костры льна и опилок**



**Рисунок 2 – Влияние содержания добавки С-3 на коэффициент теплопроводности древесно-цементных композиций на основе костры льна и опилок**



**Рисунок 3 – Влияние содержания добавки С-3 на предел прочности при сжатии древесно-цементных композиций на основе костры льна и опилок**

**Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии**



Рисунок 4 – Влияние содержания добавки С-3 на призмную прочность древесно-цементных композиций на основе костры льна и опилок

- при замачивании отходов в воде в течение 2 часов предел прочности при сжатии, а так же призмная прочность, увеличивались в среднем на 21,4%.

Максимальное снижение средней плотности и коэффициента теплопроводности наблюдалось при введении добавки в количестве 1,5% от массы цемента. Предел прочности при сжатии и призмная прочность максимально увеличивались при использовании 0,5% добавки.

Обработка опилок путем замачивания при введении добавки С-3 оказалась неэффективной, так как предел прочности при сжатии снизился на 60% по сравнению с результатами, которые показали контрольные образцы (без добавки С-3).

### Заключение

1. Использование в качестве заполнителя костры льна и опилок позволяет получить эффективные древесно-цементные композиции с улучшенными физико-техническими показателями.

2. Введение 0,5% добавки С-3 от массы цемента, наряду с введением воды при непосредственном приготовлении замесов, позволило уменьшить среднюю плотность древесно-цементных композиций на основе костры льна от 335 до 248 кг/м<sup>3</sup>, т.е. на 26%; снизить коэффициент теплопроводности древесно-цементных композиций на основе костры льна от 0,097 до 0,011 Вт/м·°С, т.е. на 88,7%.

3. Введение 1,5% добавки С-3 (от массы цемента) в состав древесно-цементных композиций на основе костры льна при обработке отходов водой в течение 30 минут позволило увеличить предел прочности при сжатии от 0,121 до 0,164 МПа, т.е. на 35,5%, а призмную прочность от 0,108 до 0,147 МПа, т.е. на 36%.

4. Использование добавки С-3 в количестве 1,5% (от массы цемента) при изготовлении древесно-цементных композиций на основе опилок, позволило:

- при обработке отходов водой в течение 30 минут средняя плотность уменьшилась от 874 до 715 кг/м<sup>3</sup> (составляет 18,2%), а коэффициент

теплопроводности – от 0,398 до 0,303 Вт/м·°С, что составляет 24%;

- при замачивании опилок водой в течение 2 часов увеличить предел прочности при сжатии от 0,675 до 0,901 МПа, т.е. на 33,5%, а призмennую прочность – от 0,600 до 0,807 МПа, т.е. на 34,5%.

### Литература

1 Кройчук, Л.А. Эффективная обработка измельченных отходов древесины [Текст] //Строительные материалы. – 2007, №7. – с. 42-43.

2 Наназашвили, И.Х. Получение строительных материалов на базе глубокой переработки древесины [Текст] //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2004, №10. – с. 16-17.

3 Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно – цементной композиции. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.

## 1.5 МЕЛКОШТУЧНЫЕ СТЕНОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ПЕСКА ОБОГАЩЕНИЯ БРЯНСКОГО ФОСФОРИТНОГО ЗАВОДА

**Королева Е.Л. (БГИТА, г.Брянск, РФ)**

*Установлена возможность использования песка обогащения фосфоритной промышленности - глауконитового песка - для изготовления мелкоштучных стеновых изделий.*

Внедрение в строительство новой системы зданий каркасного типа направлено на решение вопросов, связанных с существенным повышением потребительских качеств массового жилья и снижением стоимости его строительства и содержания. Наружные ограждающие конструкции каркасных зданий предусмотрены в виде опирающихся или навесных на каркас стен, воспринимающих ограниченную нагрузку только в пределах этажа и обеспечивающих наиболее эффективную тепловую защиту здания.

При каркасном возведении зданий наружные стены в домах можно выполнять из любых, даже малопрочных, местных материалов.

Развитие каркасного и усадебного домостроения предполагает повышенный спрос на мелкоштучные стеновые изделия (МСИ) для ограждающих конструкций.

МСИ появились на российском рынке относительно недавно, но уверенно завоевывают позиции среди производства и применения сборных железобетонных и бетонных изделий и конструкций.

Наиболее эффективным способом формования МСИ и получения качественной продукции является метод полусухого вибропрессования.

Вибропрессованные изделия по своим теплозащитным характеристикам и морозостойкости не уступают изделиям, изготовляемым по традиционным обжиговой и автоклавной технологиям (керамический и силикатный кирпич).



Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Преимуществом этой технологии является ее гибкость за счет несложной переоснастки оборудования, которая сводится к замене формирующей матрицы. Это позволяет получать очень широкую номенклатуру мелкоштучных стеновых изделий.

Изменение рецептур бетонных смесей и конфигурации формирующих матриц позволяет разнообразить варианты формирования кладки стен и архитектурную выразительность зданий, внутреннюю планировку помещений (получение различных по форме и цветовой гамме изделий), а также этажность строения и назначение изделий (ограждающие стены с утеплителем или заполнителем пустот, внутренние перегородки, фундаменты) с учетом пожеланий заказчика.

Для наружной и внутренней отделки зданий, фрагментов зданий используется и стеновой камень, и облицовочная плитка из мелкозернистого бетона.

Изготовление плитки осуществляется способом виброформования с использованием более подвижных бетонных смесей. Формование производится в гнездовых или индивидуальных пластиковых формах. Дизайн и конфигурация форм позволяет получать изделия различных видов. При использовании пигментов и белого цемента меняется цветовая гамма изделий.

Как на предприятиях по производству сборного железобетона, так и на мелких предприятиях индивидуальных предпринимателей, в г. Брянске налажен выпуск МСИ способом полусухого прессования.

Для получения бетонов, применяемых для изготовления МСИ, в качестве мелкого заполнителя предложено использование глауконитового песка - песка обогащения фосфоритного производства Брянского фосфоритного завода.

Химический состав песка свидетельствует о преобладании оксида кремния, на долю которого приходится до 90,1%.

Истинная плотность глауконитового песка в среднем составляет 2500 кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность песка – 1400-1420 кг/м<sup>3</sup>. Содержание органических примесей не превышает 1%. Модуль крупности песка 1,5...1,8, количество пылевидных и глинистых примесей не более 1 %, глина в комках отсутствует. Песок удовлетворяет требованиям ГОСТ 8736-93.

Для получения МСИ на основе песка обогащения фосфоритного производства Брянского фосфоритного завода были разработаны технические условия ТУ 5741-001-14339618-2007 «Камни стеновые на основе глауконитового песка» и технологический регламент.

В качестве крупного заполнителя для тяжелого бетона используется отсев гранитного или известнякового щебня фракции до 10 мм. По качественным показателям: наличию примесей, лещадности, дробимости и зерновому составу, заполнители соответствуют требованиям ГОСТ 9757-90.

В качестве крупного заполнителя для легкого бетона используется отсев керамзитового гравия с наибольшей крупностью 5-7 мм с насыпной плотностью около 850 кг/м<sup>3</sup>.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Вода соответствует ГОСТ 23732. В качестве вяжущего используется портландцемент М 500Д0 и белый портландцемент М 400.

Для придания изделиям определенного цвета используются красители (пигменты).

Для улучшения технологических свойств бетонной смеси и эксплуатационных характеристик бетона используется запатентованная органоминеральная добавка КДГ на основе глауконитового песка или Muroplast – FK63.

КДГ позволяет на 20-25% снизить расход воды, а Muroplast – FK63 до 30 % снизить расход воды (В/Ц 0,25- 0,35), оставляя при этом оптимальную удобоукладываемость смеси и повышая прочность бетона с меньшим расходом цемента по сравнению с исходным составом.

Полученные составы тяжелого, мелкозернистого МЗБ и легкого бетонов, обеспечивающих получение заданных прочностных показателей, представлены в таблице 1.

Таблица 1- Расход материалов на 1 м<sup>3</sup>бетона

| Марка бетона | Вид бетона | Расход материалов, кг |                     |             |                            |      |             |
|--------------|------------|-----------------------|---------------------|-------------|----------------------------|------|-------------|
|              |            | цемент 500 Д0         | песок глауконитовый | отсев щебня | отсев керамзитового гравия | вода | добавка КДГ |
| 200          | Тяжелый    | 420                   | 640                 | 1200        | -                          | 110  | 42          |
| 150          | МЗБ        | 450                   | 1450                | -           | -                          | 130  | 45          |
| 100          | МЗБ        | 380                   | 1470                | -           | -                          | 100  | 38          |
| 75           | Легкий     | 380                   | 250                 | -           | 780                        | 140  | 38          |

Примечание: расходы заполнителей даны в сухом состоянии. При изменении влажности материалов следует производить корректировку рабочих составов.

Процесс изготовления МСИ можно представить следующими технологическими переделами:

1. Подготовка и хранение сырьевых материалов;
2. Приготовление бетонной смеси;
3. Формование изделий;
4. Твердение (ТВО или нормальное твердение);
5. Приемочный контроль;
6. Отгрузка готовых изделий на склад готовой продукции.

Для приготовления бетонных смесей предназначаются бетоносмесительные цеха или автоматизированные заводы.

### Заключение

1. Для использования глауконитового песка при производстве бетона в заводских условиях были разработаны технические условия ТУ 5741-001-14339618-2007 «Стеновые камни из мелкозернистого бетона на глауконитовом песке».

2. Разработаны составы тяжелого и легкого бетона на основе глауконитового песка.

Литература

- 1 Жилкина, Т.А. Заполнители для бетонов на основе отходов промышленного производства / Т.А. Жилкин., Я.О. Креймер, В.П.Чернышев.- М.: ЦНИИЭПсельстрой, 1990.- 96 с.
- 2 Камни стеновые на основе глауконитового песка. ТУ 5741-001-14339618-2007. Брянск: БГИТА, 2008. – 42с.
- 3 Касторных, Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы / Л.П. Касторных.- Ростов н/Д.: Феникс, 2005.- 221 с.
- 4 Кочегарова, Е.А. Исследование минеральных добавок для бетона с целью ускорения его твердения и экономии цемента / Е.А.Кочегарова // Изв. вузов. Строительство.- 1988.- № 11-12.- С. 36-40.
- 5 Красный, И.М. О механизме повышения прочности бетона при введении микрозаполнителя / И.М.Красный // Бетон и железобетон.- 1992.- № 6.- С. 12-15
- 6 Лесовик, В.С. Использование промышленных отходов в производстве строительных материалов / В.С.Лесовик.- М.: Высш. шк., 1987.- 111 с.

## 1.6 НАНОТЕХНОЛОГИИ В СОЗДАНИИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДРЕВЕСИНЕ

**Котенева И.В., Котлярова И.А. (МГСУ, г.Москва, РФ)**

*By means of data of IR-spectroscopy and X-RAY photoelectron spectroscopy interaction of an ether of the boric acid containing four-coordination atom B in with components of cellulose with formation of steady communications is established. Influence of the received ether on change of a specific surface, water absorption, biostability.*

Защитные покрытия на поверхности древесины создаются с целью повышения ее биостойкости и огнезащищенности. На современном этапе развития науки в этой области предпочтение отдается элементоорганическим модификаторам, которые, взаимодействуя с компонентами лигно-углеводного комплекса древесины, обеспечивают прочное закрепление модификатора в подложке и, следовательно, длительный защитный эффект [1]. Однако, среди существующих элементоорганических модификаторов поверхности древесины отсутствуют коммерчески доступные, водорастворимые модификаторы комплексного (био- и огнезащитного) действия. В связи с этим, целью исследования явилось разработка таких составов.

В первую очередь научный интерес пал на органические соединения бора, поскольку неорганические соединения этого элемента издавна широко используются в качестве антисептиков и антипиренов [2]. Однако, наличие свободной атомной орбитали во внешнем электронном слое атома бора

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

приводит к гидролитической нестабильности сложноэфирных связей, образуемых между соединениями трехкоординационного атома бора и гидроксильными группами целлюлозы. Это можно объяснить тем, что молекула воды образует с борсодержащим эфиром целлюлозы комплекс, (за счет образования донорно-акцепторной связи между атомом кислорода воды и атомом бора), который, разлагаясь, приводит к гидролизу сложноэфирной связи. В тоже время соединения, где атом бора четырехкоординационно связан, достаточно устойчивы к гидролизу [3]. К их числу можно отнести боразотные соединения, в которых атом азота, проявляя электроннодонорные свойства, обеспечивает координационное число атома бора, равное четырем.

Наименее реакционноспособным компонентом древесины является целлюлоза, именно на ней была изучена реакция взаимодействия аминоэфира борной кислоты, содержащего четырехкоординационный атом В, с гидроксильными группами. Образцы измельченной  $\alpha$ -целлюлозы модифицировали при комнатной температуре в течение трех часов 50%-ным водным раствором эфира, с последующей их экстракцией в течение трех часов дистиллированной водой для удаления избытка модификатора.

Поверхность модифицированных образцов исследовали методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) на спектрометре XSAM-800 фирмы Kratos (Великобритания). Регистрация спектров проводилась при комнатной температуре, глубина исследуемой поверхности составляла 10 нм.

При изучении спектров было установлено, что атомы бора и азота присутствуют в нанослое поверхности целлюлозы, что является подтверждением факта химического взаимодействия, иначе бы длительная экстракция привела бы к вымыванию эфира. Значения энергий связи В – N, В – O, рассчитанные методом РФЭС в исследованных образцах и известные значения энергий связи В с соседними атомами из литературных источников сопоставлены в таблице 1. Из таблицы видно, что полученные значения энергий связи В не совпадают ни с одним литературным источником, в которых эти значения были рассчитаны для трехкоординационного атома В. Это дает основание предположить, что в нашем случае атом бора четырехкоординационен, а, следовательно и атом N тоже четырехкоординационен, что служит подтверждением образования донорно-акцепторной связи между атомами В и N.

Таблица 1- Значения энергий связи В – N, В – O

| B 1s  | N 1s  | O 1s   | N 1s-B1s | B1s- O1s | Handbook [4]                          | NIST B1s [5]                           |
|-------|-------|--------|----------|----------|---------------------------------------|--|
| 192.6 | 400.8 | 532.86 | 208,2    | 340.26   | BN: 190.7,<br>398.3                   | 190.5, 398.2                           |
|       |       |        |          |          | B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 193.4 | 193.6, 533.2                           |
|       |       |        |          |          | BOH: 193.2                            | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> : 193.4 |

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

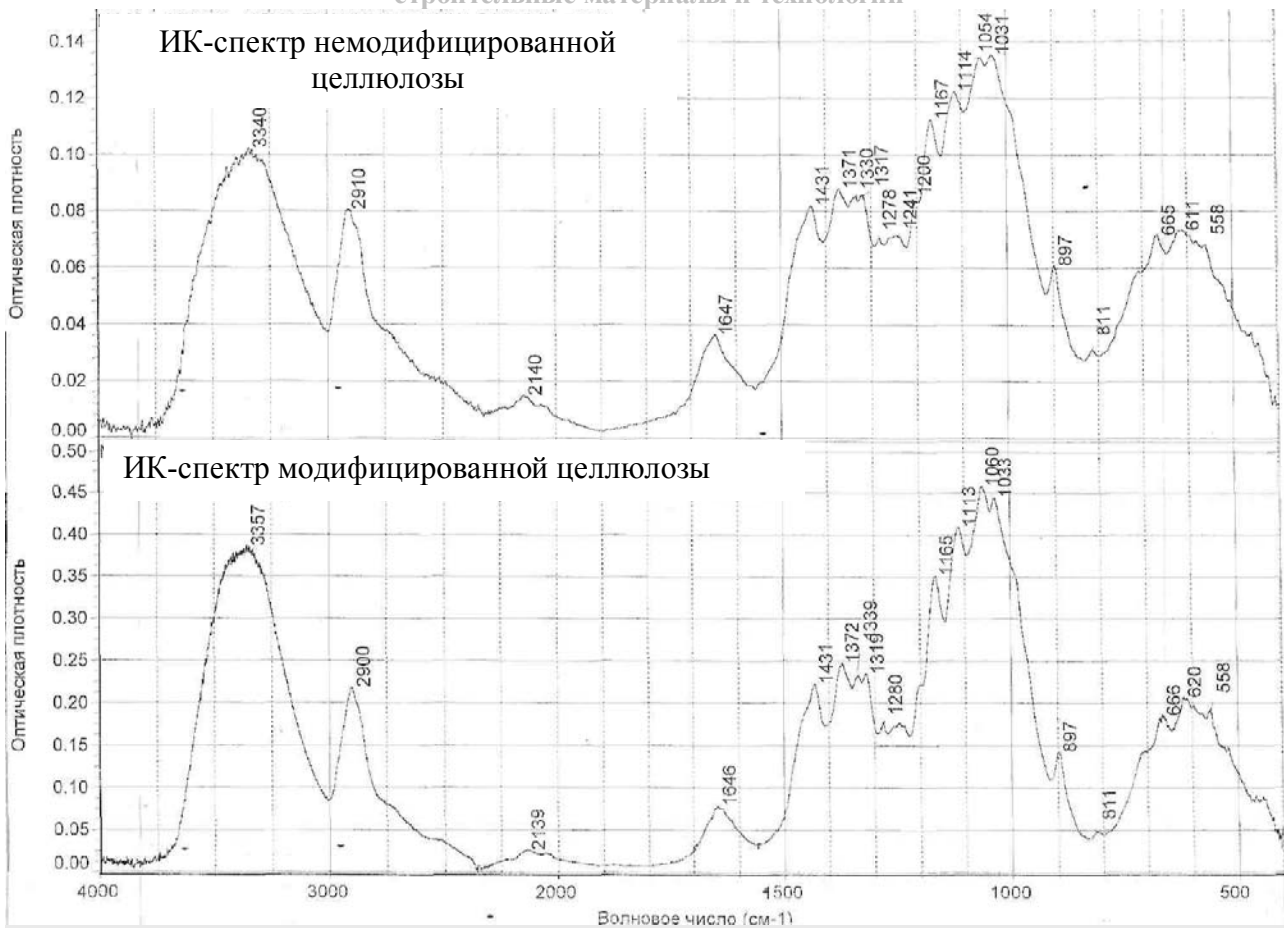


Рисунок 1 - ИК-спектры немодифицированной целлюлозы и целлюлозы, модифицированной аминокэфиром борной кислоты

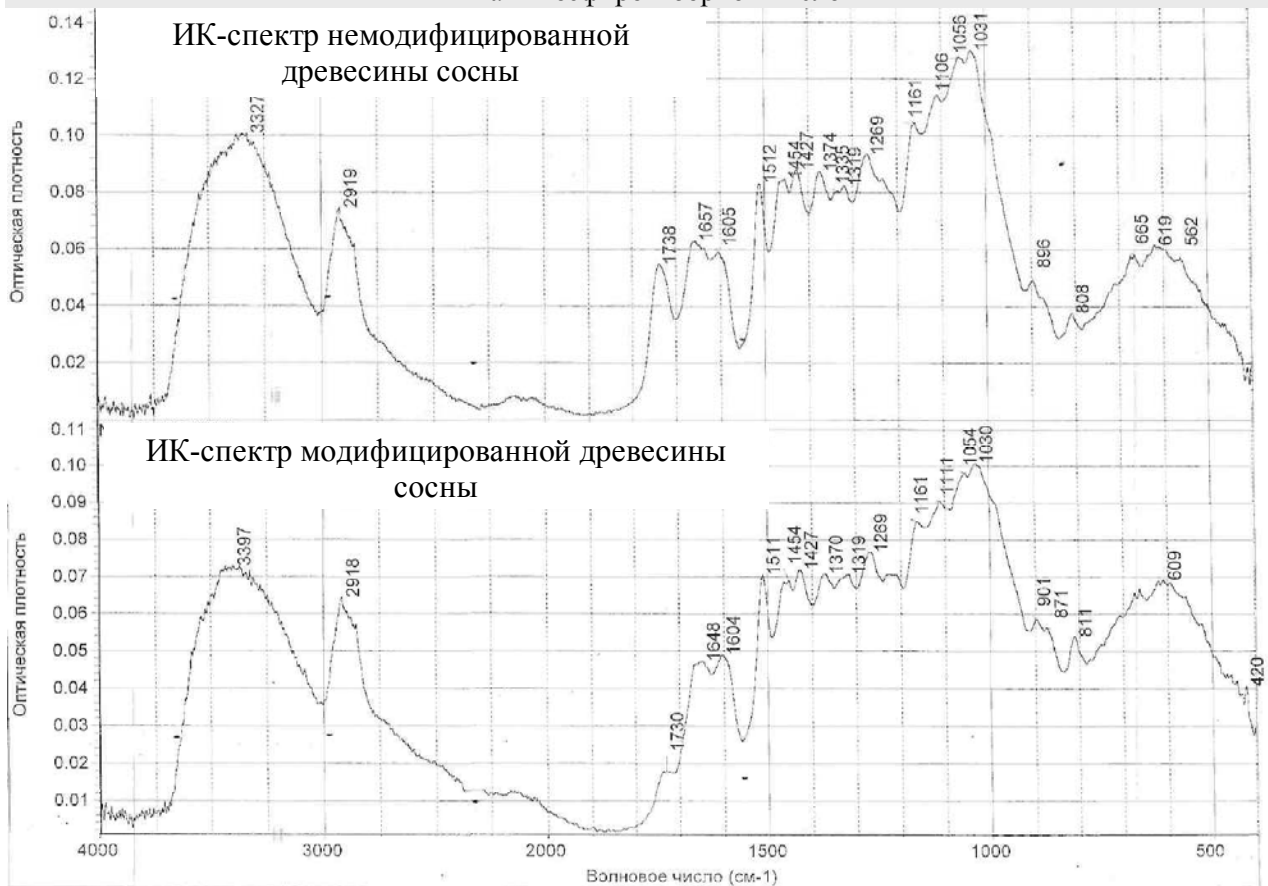


Рисунок 2 - ИК-спектры немодифицированной древесины сосны и древесины сосны, модифицированной аминокэфиром борной кислоты

При изучении ИК-спектров целлюлозы, модифицированной эфиром было установлено, что происходит значительное увеличение интенсивности пика модифицированной целлюлозы в области  $\sim 1340 \text{ см}^{-1}$  по сравнению с немодифицированной целлюлозой. Это можно объяснить появлением на поверхности связей В-О-С, с частотой  $1340 \text{ см}^{-1}$ . Увеличение интенсивности пика частотой  $2910 \text{ см}^{-1}$  – свидетельствует об увеличении числа групп  $\text{CH}_2$  на поверхности модифицированной целлюлозы, рисунок 1.

В ИК-спектре модифицированной древесины исчезает пик частотой  $1730 \text{ см}^{-1}$ , рисунок 2, который характерен для карбонильных групп лигнина. В связи с этим можно сделать вывод, при модифицировании древесины полученным эфиром взаимодействие происходит не только с целлюлозой, но и с лигнином.

Удельную поверхность древесины исследовали методом сорбции [6]. В ходе исследования было установлено, что при модифицировании поверхности древесины эфиром удельная поверхность уменьшается в 3 раза.

Это приводит к снижению водопоглощения модифицированной древесины, которое по результатам испытаний в соответствии с ГОСТ 16483.20-72 уменьшилось в 2 раза.

В результате проведенных испытаний по ГОСТ 16363-98 (п.4.2) строганных образцов древесины сосны, обработанных пропиточным составом, основным компонентом которого является полученный аминоэфир, установлено, что состав обеспечивает II группу огнезащитной эффективности при среднем суммарном расходе  $150 \text{ г/м}^2$ .

#### Заключение:

1. Аминоэфир борной кислоты, содержащий четырехкоординационный атом В, при взаимодействии с гидроксильными группами целлюлозы образует гидролитически устойчивые связи.

2. При модифицировании поверхности древесины водным раствором эфира уменьшается удельная поверхность и водопоглощение древесины, обеспечивается 100%-ная биостойкость и древесина переходит в разряд трудновоспламеняемых материалов (II группа огнезащитной эффективности).

#### Литература

1 Котенева И.В. Повышение биостойкости и гидрофобности древесины путем поверхностного модифицирования фосфор- и кремнийорганическими соединениями//Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 2004.- 142с.

2 Эрмуш Н.А. Новые борсодержащие защитные средства для древесины и древесных материалов в строительстве// Биоповреждения в строительстве. М.,1984. – С. 140 – 149.

3 Н.Г.Бутылкина, Н.И.Бекасова, М.А.Тюганова, З.А.Роговин. Синтез гидролитически устойчивых огнезащитных борсодержащих производных целлюлозы. Химия древесины, 1982, №5. – С. 20-24.

4 Handbook of x-ray photoelectron spectroscopy by C.D. Wagner, W.M. Riggs and other / Perkin-Elmer corporation physical electronics division, 1978.

5 Wagner C.D., Naumkin A.V., Kraut-Vass A., Allison J.W., Powell C.J., Rumble J.R., Jr. NIST Standard Reference Database 20, Version 3.4. Web Vers. 2004. <http://srdata.nist.gov@xps>.

6 Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М.: Мир, 1970 – 216 с.

## 1.7 ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Ласман И.А., Дуда В.В. (БГИТА, г.Брянск, РФ)

*Рассмотрены вопросы эффективности использования зол в производстве силикатного кирпича на основе литературного обзора.*

Актуальность проблемы использования золы в производстве строительных материалов состоит в том, что ежегодные сбросы зол и шлаков (ЗШО) от сжигания угля, увеличивают общий объем складированных отходов и наносят серьезный вред окружающей среде. Результаты теоретических и экспериментальных исследований российских и зарубежных ученых свидетельствуют о том, что золы ТЭС являются ценным сырьем для производства ряда важных строительных материалов и изделий.

К причинам низкого уровня утилизации отходов ТЭС в отраслях народного хозяйства России можно отнести несовершенство законодательных актов, направленных на сохранение экологического равновесия в зоне выбросов отходов, а также отсутствие экономического регулирования потребления природных материалов.

С 2000 года нормируемое сопротивление теплопередачи ограждающих конструкций зданий увеличено в два-три раза, следовательно, возведение наружных стен из силикатного кирпича, при увеличении толщины ограждающих конструкций для различных зданий и сооружений от 40 до 75%, стало экономически нецелесообразным. Кроме кризисных явлений, это обстоятельство стало одной из причин резкого снижения производства силикатного кирпича на большинстве действовавших заводов.

В то же время для нашего общества остается неоспоримой высокая социальная значимость жилья. Программу «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» Президент России Д.А.Медведев выделил как приоритетную. Ее реализация может быть значительно ускорена за счет увеличения загородного малоэтажного строительства, с применением экономичных ограждающих конструкций с улучшенными теплофизическими и механическими свойствами

[2]. Эту проблему можно решить путем мобилизации местных ресурсов с вовлечением отходов промышленных предприятий.

Одним из наиболее оптимальных путей выхода из создавшегося положения и рационального решения данной проблемы является организация производства силикатного кирпича на основе техногенных отходов - зол [5].

Вопросам использования зол тепловых станций в производстве силикатного кирпича посвящено большое число исследований. Однако чаще всего зола рассматривалась как компонент автоклавного вяжущего или добавка (20...30%) в силикатную смесь.

Введение в состав массы для производства кирпича активных высокодисперсных добавок, какими являются золы ТЭС, позволяет существенно снизить расход извести и песка. Причем они могут использоваться при приготовлении известково-зольного вяжущего и в качестве кремнеземистого компонента вместо песка.

Оптимальное количество вводимой золы взамен кварцевого песка составляет 50...80 %, что значительно улучшает формовочные свойства массы, увеличивает прочность сырца, а также улучшает условия работы прессов.

Помимо золы и извести при производстве известково-зольного кирпича возможно применение пыли-уноса известково-обжигательных печей (ИОП) и добавки – химически модифицированной золы ТЭС или смеси.

Предварительная подготовка сырьевой смеси, состоящей из пыли-уноса ИОП и модифицированной золы, позволяет повысить прочность изделия при минимальных затратах труда и используемых сырьевых компонентах.

На повышение эффективности способа производства золосиликатного кирпича за счет снижения расхода сырья и стабилизации характеристик прочности, морозостойкости и линейных размеров кирпича, влияет основность золы.

Составы сырьевой смеси и свойства известково-зольного кирпича представлены в таблице 1.

Результаты исследований, представленные в таблице 1 показывают, что золы с основностью не более 0,7 и содержанием свободной закрытой извести не более 1,4% могут использоваться без помола и вводиться в силикатную массу непосредственно перед прессованием кирпича-сырца вместо 30...40% вяжущего. Золы с основностью более 0,7 и содержанием закрытой свободной извести более 1,4% требуют помола и могут вводиться вместо 40% вяжущего.

При введении в силикатную массу перед прессованием золы с основностью по коэффициенту основности менее 0,7 и содержанием свободной закрытой извести менее 1,4% приводит к повышению прочности силикатного образца при сжатии на 8...14%, коэффициента морозостойкости - на 4...12%, отсутствию увеличения диаметра образца по сравнению с контрольным силикатным образцом, изготовленным на основе известково-кремнеземистого вяжущего.

При введении золы с основностью по коэффициенту основности более 0,7 и содержанием свободной закрытой извести более 1,4% при помоле вяжущего прочность силикатного образца при сжатии повышается на 15...46%.



**Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии**

коэффициента морозостойкости на 4...10%, отсутствует увеличение диаметра образца по сравнению с контрольным силикатным образцом, изготовленным на основе известково-кремнеземистого вяжущего.

Таблица 1 - Составы сырьевой смеси и свойства известково-золяного кирпича

| Характеристики зол                     |                               | Прочность при сжатии, % от контрольного (известь + песок) | Увеличение диаметра образца, % от контрольного (известь + песок) | Морозостойкость после 15 циклов в % от контрольного (известь + песок) |
|--|-------------------------------|---|--|---|
| Коэффициент основности                 | Закрытая свободная известь, % |   |  |   |
| Золу вводят в массу перед прессованием |                               |   |  |   |
| 0,54                                   | 1,22                          | 108   | 0  | 112   |
| 0,65                                   | 1,36                          | 103   | 0  | 104   |
| 0,70                                   | 1,40                          | 114   | 0  | 110   |
| 0,70                                   | 1,73                          | 96  | 0,12   | 98  |
| 0,85                                   | 1,40                          | 95  | 0,23   | 96  |
| 1,01                                   | 1,73                          | 125   | 0,35   | 91  |
| 1,13                                   | 1,65                          | 105   | 0,46   | 90  |
| 1,37                                   | 2,28                          | 135   | 2,80   | 74  |
| 1,61                                   | 4,30                          | 93  | 5,60   | 50  |
| Золу вводят при помоле вяжущего        |                               |   |  |   |
| 0,54                                   | 1,22                          | 94  | 0  | 96  |
| 0,65                                   | 1,36                          | 96  | 0  | 98  |
| 0,70                                   | 1,40                          | 115   | 0  | 108   |
| 0,70                                   | 1,73                          | 112   | 0  | 110   |
| 0,85                                   | 1,40                          | 106   | 0  | 108   |
| 1,01                                   | 1,73                          | 114   | 0  | 110   |
| 1,13                                   | 1,65                          | 124   | 0  | 103   |
| 1,37                                   | 2,28                          | 132   | 0  | 106   |
| 1,61                                   | 4,30                          | 146   | 0  | 104   |

Зависимость прочности известково-золяного сырца и кирпича от величины формовочной влажности и давления прессования (таблица 2) аналогична влиянию указанных факторов на свойства известково-песчаного кирпича. Однако оптимальная формовочная влажность исследуемой смеси составляет 10...14 масс. %, что вдвое превышает величину, характерную для традиционных сырьевых материалов [1].

Таблица 2 - Зависимости прочности известково-золяного сырца и кирпича

| Давление прессования, МПа | Предел прочности при сжатии, МПа |      |      |      |        |      |      |     |
|---------------------------|----------------------------------|------|------|------|--------|------|------|-----|
|                           | Сырец                            |      |      |      | Кирпич |      |      |     |
|                           | При влажности смеси, масс. %     |      |      |      |        |      |      |     |
|                           | 8                                | 10   | 14   | 16   | 8      | 10   | 14   | 16  |
| 20                        | 0,47                             | 0,46 | 0,42 | 0,3  | 6,5    | 7,9  | 9    | 8,6 |
| 25                        | 0,5                              | 0,54 | 0,59 | 0,41 | 7,7    | 10   | 10,8 | 9,9 |
| 30                        | 0,66                             | 0,69 | 0,65 | 0,44 | 7,8    | 12,4 | 12,6 | 12  |

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Прочность сырца и кирпича возрастает пропорционально увеличению давления прессования. Темпы упрочнения сырца и роста давления прессования одинаковы. Прочность кирпича в исследованном диапазоне влажности смеси повышается медленнее, чем давление прессования.

У известково-песчаных смесей менее тесная зависимость прочности сырца от величины давления прессования. Эти отличия обусловлены прежде всего более развитой поверхностью частиц золошлаковой смеси, чем у кварцевого песка одинакового зернового состава. Развитая поверхность предопределяет увеличение числа контактов между частицами при уплотнении и связанное с этим повышение прочности сцепления и механического зацепления. Доля последних в прочности сырца на основе кварцевого песка составляет всего 20...30 %. Повышение роли названных факторов в формировании прочности известково-песчаного сырца и кирпича достигается при увеличении расхода вяжущего или введении в сырьевую смесь уплотняющих либо укрупняющих добавок. Наибольшую эффективность обеспечивает укрупняющая добавка с зёрнами анизометрической формы [1].

Изучение кинетики автоклавного твердения известково-зольного кирпича показало, что он нуждается в более длительном запаривании, чем известково-песчаный кирпич. Оптимальная длительность изотермической выдержки составила в зависимости от величины давления пара в автоклаве: 8...9 ч при 0,8 МПа, 6...8 ч при 1 МПа, 4...6 ч при 1,2 МПа.

Образцы кирпича марок 100, 125 и 150 выдержали комплексные испытания и имеют следующие характеристики, представленные в таблице 3.

Таблица 3 - Показатели свойств известково-зольного кирпича

| Показатели свойств материала, размерность                   | Величина     |
|---|--------------|
| Водопоглощение, масс. %                                     | 18... 22     |
| Марка по морозостойкости                                    | F25          |
| Снижение прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии, % | 18... 20     |
| Плотность кирпича, кг/м <sup>3</sup>                        | 1400... 1500 |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)                      | 0,4... 0,46  |
| Прирост теплопроводности на 1 масс. % влажности, Вт/(м·К)   | 0,015        |

Большое влияние на прочность золосиликатного кирпича оказывают добавки, ускоряющие процесс образования гидросиликатов кальция: NaOH, NaCl, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, NaCO<sub>3</sub>. Для изучения влияния добавок на свойства золосиликатного кирпича их вводили в количестве 15% от массы извести. Из приготовленных смесей формовали образцы и подвергали автоклавной обработке при давлении насыщенного пара 16 МПа. Прочность образцов при использовании в качестве добавки NaOH составила 50,2 МПа; при введении NaCl - 32 МПа; при добавке Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> - 28 МПа; при использовании NaCO<sub>3</sub> - 30,7 МПа [4].

Для определения оптимального количества добавки в сырьевой смеси для производства золосиликатного кирпича приготовлены образцы с содержанием

NaOH 5 и 10% и определены свойства полученного материала. Прочность при добавке 5% NaOH приводит к увеличению прочности до 49,3 МПа. Свойства золосиликата без добавок и с добавкой 10% NaOH от массы извести приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Свойства золосиликатного кирпича

| Состав                      | Прочность при сжатии, МПа | Морозостойкость, циклы | Водопоглощение, % | Водостойкость, Кр | Плотность, кг/м <sup>3</sup> |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|
| Контрольный без добавок     | 38                        | 200                    | 7,3               | 0,9...1           | 2200                         |
| Образец с добавкой 10% NaOH | 49,3                      | 300                    | 4,5               | 0,9...1           | 2100                         |

### Заключение

Применение золы в производстве силикатного кирпича, позволяет улучшить его качество, снизить сырьевые и заводские расходы, сделать его конкурентоспособным и эффективным на рынке строительных материалов.

### Литература

1 Воронин, В.П., Заровятных, В.А., Шикирянский, А.М. Эффективный силикатный кирпич на основе золы ТЭС и порошкообразной извести / В.П.Воронин, В.А.Заровятных, А.М.Шикирянский // Строительные материалы.- 2000.- №8.- С. 24-25.

2 Макаренко, С.В., Коновалов, Н.П., Коновалов, П.Н. Золосиликатный кирпич – перспективный материал в жилищном строительстве / С.В.Макаренко, Н.П.Коновалов, П.Н.Коновалов // Строительные материалы.- 2008.- №11.- С. 50-51.

3 Пат. 2182891 Россия, С04В28/18//С04В111:20. Способ получения силикатного кирпича с использованием высококальциевой золы тепловых электростанций / С.А.Самардак; С.А.Самардак.- заявлено 03.04.2006; опубл. 20.08.2007.- 6 с.

4 Пат. 23304563 Россия, С04В 28/00, С04В 111/20. Способ производства сырьевой смеси / Г.И.Овчаренко, В.Б.Францен; Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова.- заявлено 25.04.2000; опубл. 27.05.2002.- 6 с.

5 Филиппов, Е.В., Воробьев, Х.С., Гольцов, И.Н., Крук, А.Т., Жаглин, В.И. Перевод заводов силикатного кирпича на производство изделий из ячеистого бетона / Е.В.Филиппов, Х.С.Воробьев, И.Н.Гольцов, А.Т.Крук, В.И.Жаглин // Строительные материалы.- 1999.- №1.- С. 14-17.

## 1.8 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОДОБАВКАМИ

Лукутцова Н.П., Лукашов С.В., Матвеева Е.Г. (БГИТА, г.Брянск, РФ)

*В данной работе проводились исследования структуры мелкозернистого бетона (МЗБ), модифицированного нанодобавкой – золей кремниевой кислоты.*

Наиболее простым и эффективным способом улучшения физико-химических свойств бетонов является использование различного рода добавок, введение которых приводит к образованию дополнительных продуктов гидратации, уплотняющих структуру цементного камня. Комплексные добавки улучшают свойства не только за счет уменьшения количества воды затворения, но и за счет изменения структуры цементного камня.

В современной наноиндустрии существуют два способа получения наночастиц, а именно:

- уменьшение размеров физических тел до наночастиц;
- «сборка» из элементарных частиц, имеющих наноразмерные структуры

[1].

Целью данной работы является изучение влияния комплексного использования нанодобавки и суперпластификатора на повышение качественных характеристик мелкозернистого бетона.

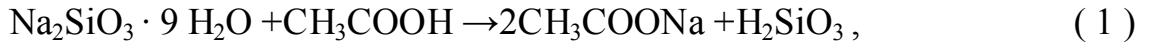
В работе проводились испытания образцов мелкозернистого бетона на портландцементе М 500 Д0 ОАО «Мальцовский портландцемент» и кварцевом песке  $M_{кр}=1,6$  и  $B/C=0,38$ . Для исследования микроструктуры использовался растровый ионно-электронный микроскоп Quanta 200 3D.<sup>1</sup>

Золя, как добавка в бетон, используется для создания дополнительного структурного элемента в бетонной смеси. Этот элемент представляет собой наночастицу оксида кремния, который со временем в результате реакции с  $Ca(OH)_2$  переходит в гидросиликат кальция, что приводит к сокращению объема пор. Таким образом, в структуре бетона происходит заполнение пор частицами золя и продуктами его взаимодействия. Из чего следует, что использование добавок на наноуровне значительно повышает прочность и другие характеристики бетонной смеси и бетона.

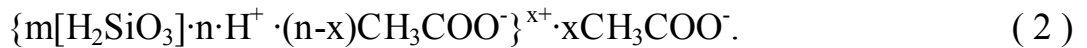
Синтезирование добавки – золя кремниевой кислоты проводили химическим поликонденсационным методом. Золя кремниевой кислоты представляет собой некристаллическую конденсационную нанодисперсную структуру из метастабильных растворов. Он характеризуется агрегативной неустойчивостью при изменении температуры, что приводит к образованию гидрогелей, а затем ксерогелей [2].

<sup>1</sup> Исследования проводились в Центре коллективного пользования научным оборудованием БелГУ (г. Белгород).

Золь кремниевой кислоты получали методом титрования слабо разбавленного раствора силиката натрия уксусной кислотой до pH=4,3. Полученная добавка представляет собой прозрачную жидкость с плотностью  $\rho=1018 \text{ кг/м}^3$  и содержанием частиц нанокремнезема 0,23%. Процесс синтеза добавки описывается следующим уравнением реакции:



Химическая формула золя кремниевой кислоты приведена ниже.

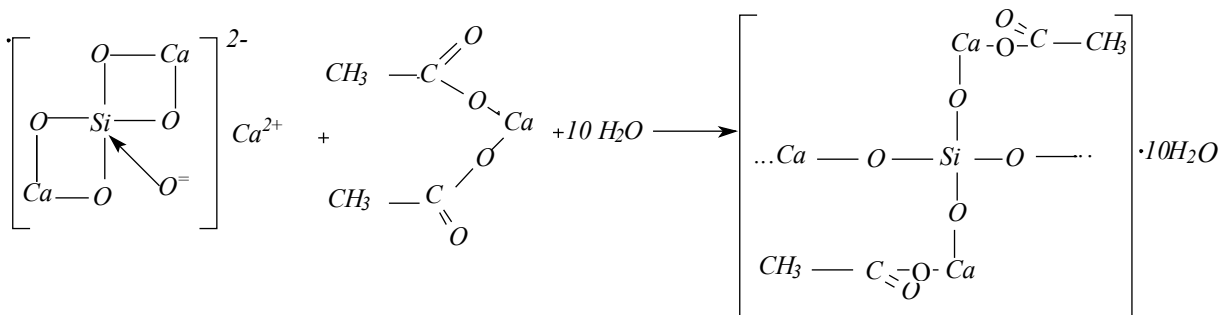
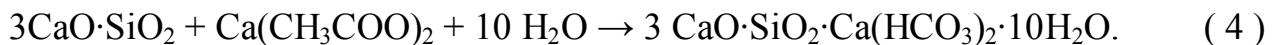


Известно, что молекулярная масса свежевыделенной кремниевой кислоты около 100 у. е. Через несколько дней молекулярная масса кислоты достигнет 1000 у.е. и более. Это объясняется чрезвычайной легкостью самоконденсации кислоты, сопровождающейся выделением воды [3]. При этом агломерации частиц кремнезема не происходит. Для исследований использовали золь кремниевой кислоты в возрасте трех суток. Добавку вводили в количестве 10% с маточным раствором. Регулирование подвижности бетонной смеси осуществляли суперпластификатором С-3 в количестве 1%.

Побочным продуктом получения золя кремниевой кислоты является ацетат натрия, входящий в маточный раствор. При взаимодействии гидроксида кальция с ацетатом натрия образуется ацетат кальция. Согласно [4], ацетаты кальция и другие кальциевые соли относятся к группе добавок, вступающих с вяжущими в реакции присоединения с образованием труднорастворимых смешанных солей – гидратов. Взаимодействие гидроксида кальция с ацетатом натрия протекает по реакции:



Взаимодействие трехкальциевого силиката с ацетатом кальция происходит по реакции:

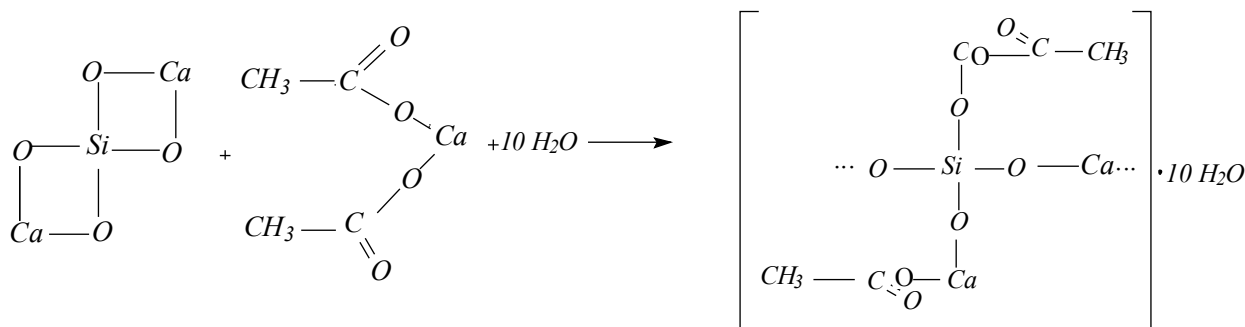
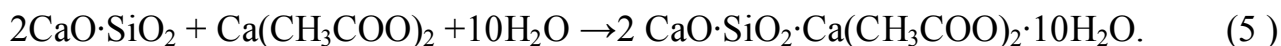


В минерале алите пятый кислород (ион кислорода  $\text{O}^{2-}$ ) связан донорно-акцепторной связью с атомом кремния. Поэтому в структуре алита

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

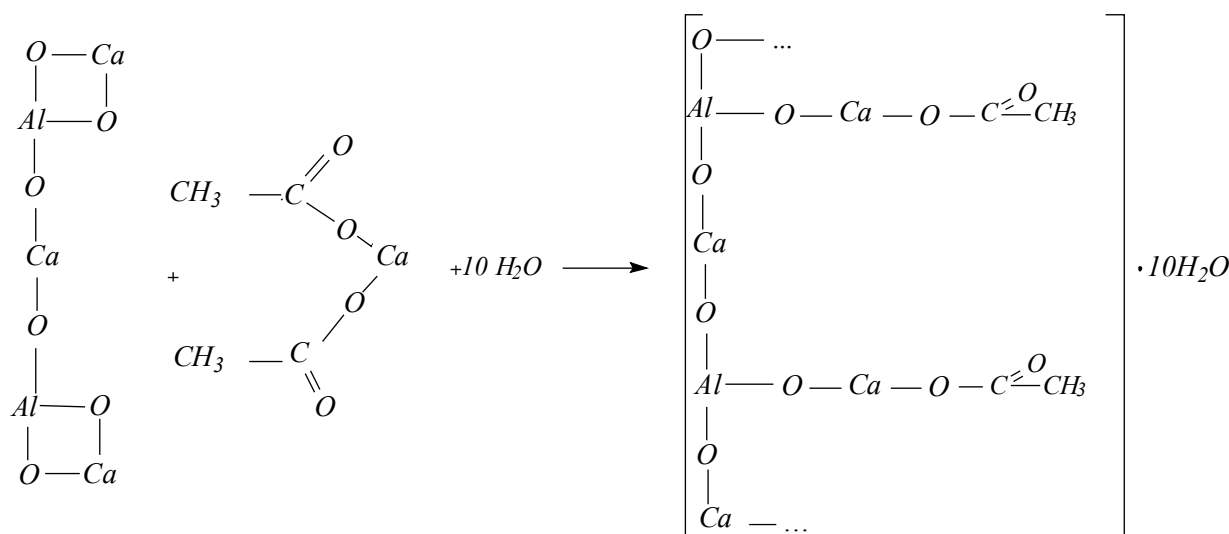
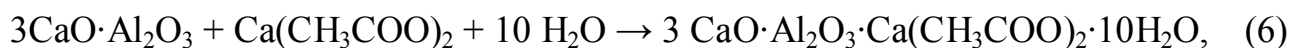
присутствует ионная связь между  $[\text{Ca}_2\text{SiO}_5]^{2-}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  [5]. При взаимодействии алита с гидроксидом кальция и последующей гидратацией получается полимерная смешанная гидратированная соль, образование которой облегчается за счет перехода кислорода, связанного донорно-акцепторной связью, в устойчивое состояние – связь с ионом кальция.

Взаимодействие двухкальцевого силиката с ацетатом кальция протекает по реакции:



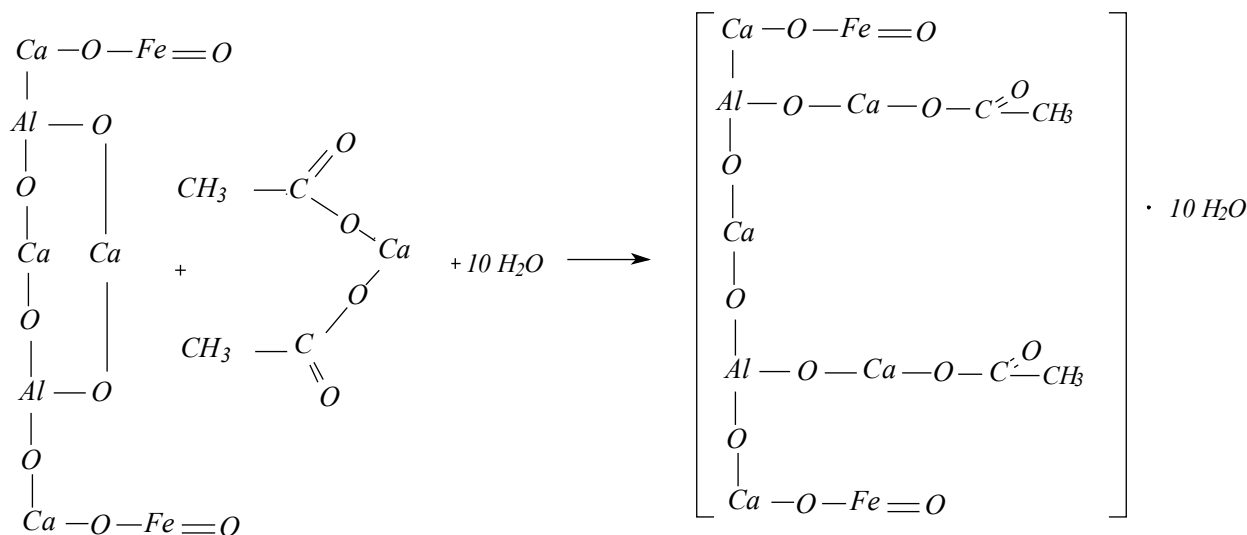
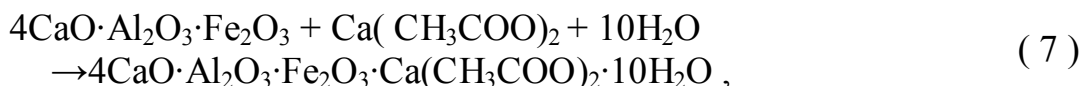
Двухкальцевый силикат имеет законченную прочную структуру, в связи с чем его гидратация наступает на более поздних сроках. При его взаимодействии с ацетатом кальция также образуется полимерная смешанная гидратированная соль – гидроацетосиликат кальция, твердение и кристаллизация которой протекает легче ввиду образования каркаса из частиц со связью  $[\text{—Ca—O—}]$ .

Взаимодействие трехкальцевого алюмината с ацетатом кальция также приводит к образованию труднорастворимой гидратированной соли:



При взаимодействии трехкальцевого алюмината с ацетатом кальция, который выступает инициатором кристаллизации, наступает образование гидроацетоалюминатов кальция.

Взаимодействие четырехкальциевого алюмоферрита с ацетатом кальция описывается следующей реакцией:



В начальный период гидратации скорость кристаллизации гидроацетоалюминатов и гидроацетосиликатов кальция выше скорости образования эттрингита. Игольчатые кристаллы этих образований оказывают микроармирующее действие на цементный камень, повышая его плотность.

Золь кремниевой кислоты в сочетании с образующимися гидроацетоалюминатами кальция принимает непосредственное участие в формировании структуры цементного камня, кольтатируя поры и повышая непроницаемость бетона, ввиду высокой микропористости цементного камня [4], а также приводит к образованию первичного каркаса, что обеспечивает кинетику набора прочности цементного камня на ранних сроках твердения. Наночастицы кремнезема непосредственно участвуют в коагуляционно-кристаллизационном процессе формирования структуры цементного камня.

Постепенное образование эттрингита дополнительно микроармирует структуру цементного камня [5]. Низкоосновные гидросиликаты кальция отличаются равномерной субмикроструктурной структурой, что также способствует повышению прочности. В возрасте 14 суток в образцах с нанодобавкой исключается перекристаллизация эттрингита в моногидросульфатоалюминат ввиду дефицита С<sub>3</sub>А в системе, обусловленного связыванием его в гидроацетоалюминаты кальция.

Результаты испытания показывают (таблица 1), что использование суперпластификатора С-3 позволяет увеличить прочность образцов МЗБ на 27 % по сравнению с контрольными, в то время как комплексное использование нанодисперсных добавок и пластификатора приводит к увеличению прочности в 2 раза.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Таблица 1 – Характеристики образцов мелкозернистого бетона.

| № | Наименование            | Предел прочности при сжатии через 3 суток твердения | Предел прочности при сжатии через 28 суток твердения |
|---|-------------------------|---|--|
| 1 | МЗБ контр.              | 9,6   | 29   |
| 2 | МЗБ с 1 % С-3           | 12,2  | 37   |
| 3 | МЗБ с 10% золя и 1% С-3 | 19,2  | 58,24  |

С целью изучения влияния кремнеземсодержащей нанодобавки на процессы гидратации цемента проведен рентгенофазовый анализ образцов цементных композитов без добавки, с нанодобавкой и С-3.

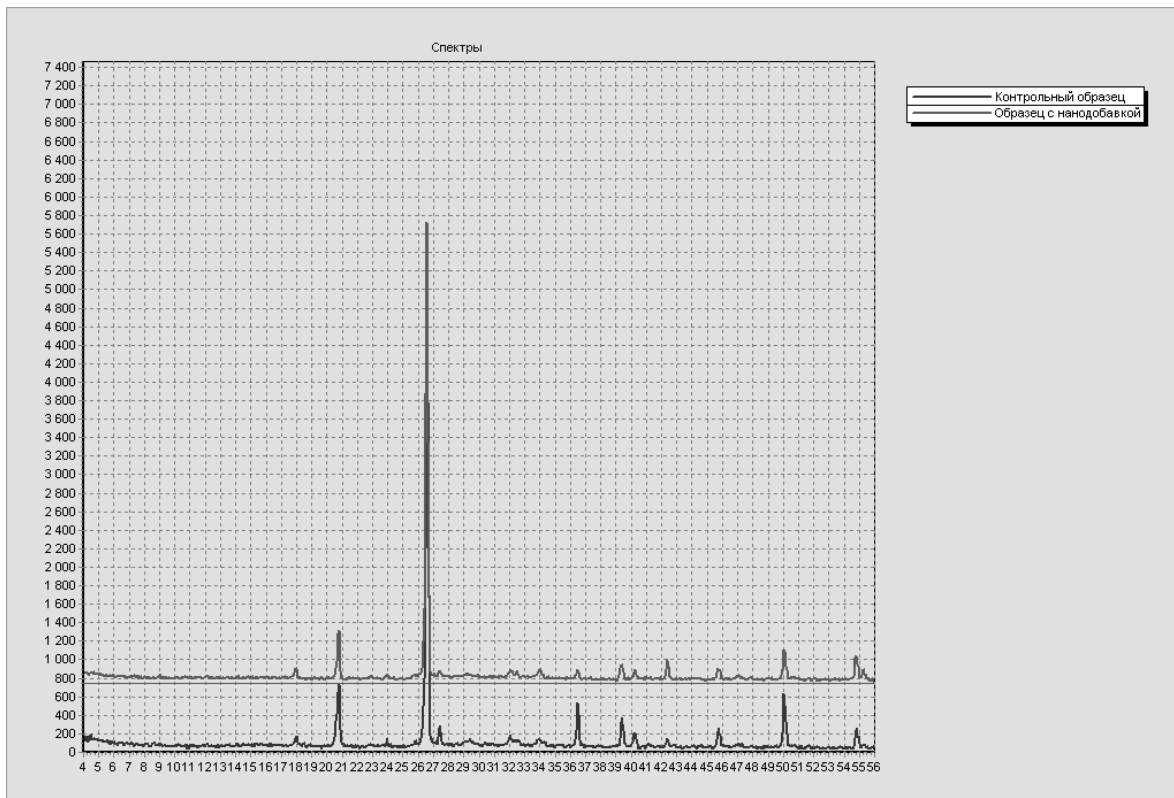


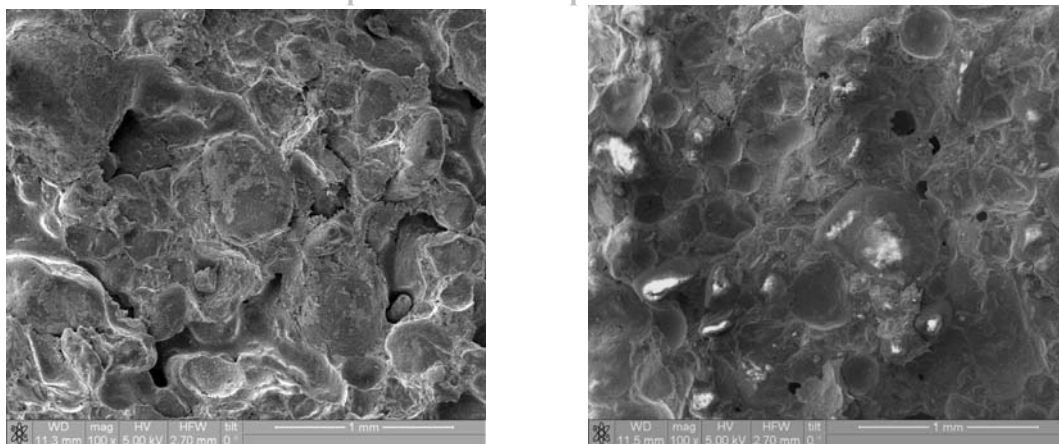
Рисунок 1 – Рентгенограммы образцов цементных композитов.

Установлено, что этот комплекс добавок снижает интенсивность отражения портландита, что объясняется связыванием ионов  $Ca^{2+}$  при взаимодействии с силикатным ионом, имеющих свободные связи.

Результаты рентгенофазового анализа кристаллогидратных новообразований и механических испытаний хорошо согласуются с результатами растровой электронной микроскопии. Сравнивая микроструктуры МЗБ контрольного состава, МЗБ с содержанием суперпластификатора С-3, МЗБ с содержанием золя и С-3, можно отметить, что при комплексном использовании пластификатора и золя наблюдается образование упорядоченной структуры с более плотной упаковкой кристаллов, что приводит к повышению прочности композита.



## Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса: строительные материалы и технологии



а)

б)

Рисунок 2 – Микроструктура образцов МЗБ: а) контрольные образцы, б) образцы, модифицированные нанодобавкой.

### Заключение

Таким образом, комплексное использование нанодобавки и пластификатора С-3, а также содержание в маточном растворе побочного продукта – ацетата натрия, взаимодействующего с гидроксидом кальция с образованием ацетата кальция, приводит к образованию труднорастворимых смешанных солей, коагулирующих поры. Поэтому чего происходит изменение формы гидратных образований, более плотная их упаковка, ликвидации крупных пор, что способствует образованию более плотной структуры МЗБ и обеспечивает улучшение физико-механических его характеристик – получение образцов с пределом прочности при сжатии, в 2...2,5 раза превышающем значение предела прочности при сжатии контрольных образцов.

### Литература

- 1 Кабаяси, Н. Введение в нанотехнологию: пер. с япон. А.В. Хачояна под ред. Потрикеева. [Текст] /Н. Кабаяси. - М.: БИНОМ, 2007.-134 с.
- 2 Лукутцова, Н.П. Наномодифицированный мелкозернистый бетон / Н.П. Лукутцова, Е.Г. Матвеева, А.А. Пыкин, О.А. Чудакова// Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов/ Материалы V Междунар. конф., Волгоград, 2009.-ч I.- с.166-170.
- 3 Фролов, Ю.Г. Кремниевые кислоты: получение и применение гидрозоль кремнезема [Текст] /Ю.Г. Фролов.- М., 1979.-342 с.
- 4 Ратинов, В.Б. Добавки в бетон. [Текст] / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М., 1989.-120 с.
- 5 Садыков, П.И. Особенности гидратации цементов, содержащих редиспергируемые дисперсионные полимерные порошки. [Текст] / П.И.Садыков, З.А. Естемесов, Б.Б Дусипов//Технологии бетонов.-2008.-№11.- с.68-69.

## 1.9 ЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Матвеева Е.Г. (БГИТА, г.Брянск, РФ)

*В данной работе проводились исследования композитов на основе отходов растительного происхождения. Установлено, что применение этих отходов в производстве цементных и гипсовых композитов приводит к снижению их средней плотности до 450...700 кг/м<sup>3</sup> при обеспечении прочности при сжатии 2,5...4,6 МПа.*

Древесно-цементный композит (арболит) - строительный материал, разновидность лёгкого бетона, изготавливаемый из смеси органических заполнителей (дроблёных отходов деревообработки, камыша, костры конопли и т. п.), вяжущего (обычно портландцемента) и воды. Для минерализации заполнителя и ускорения твердения цемента в смесь вводят хлористый кальций, сернокислый глинозём совместно с известью-пушонкой или другие добавки. Древесно-гипсовый композит (гипсобетон) - вид бетона, изготавливаемого на основе гипсовых вяжущих с использованием минеральных заполнителей, преимущественно с шероховатой поверхностью, органических (древесные опилки, сечка соломы или камыша и пр.) или смеси минеральных и органических заполнителей (например, древесные опилки и песок). Известно, что гипсобетон и арболит являются долговечными экологичными строительными материалами, которые характеризуются высокими теплосберегающими свойствами.

Цель работы – исследование возможности применения альтернативных видов заполнителей для производства цементных и гипсовых композитов и исследование их физико-механических свойств.

Задача подбора состава такого многокомпонентного материала, как древесно-цементный композит, заключается в том, чтобы назначить оптимальное количественное соотношение компонентов для приготовления смеси, обеспечивающей получение наиболее экономичного материала с комплексом необходимых свойств. При подборе состава композиционных материалов основным требованием к их свойствам является максимальная прочность при минимальной плотности. Главное влияние на формирование структуры композиционного материала оказывает соотношение вяжущей и заполняющей части, т.е. цементно-древесное и гипсо-древесное отношение. Содержание вводимой воды определяется характеристиками древесных частиц или частиц растительного происхождения и количеством вяжущего.

Для проведения эксперимента использовались в качестве заполнителей опилки смешанных пород, костра льна, шелуха проса ( $\rho_n=150$  кг/м<sup>3</sup>) и гречки ( $\rho_n=130$  кг/м<sup>3</sup>). Данные заполнители исследовали на содержание техногенных радионуклидов на гамма-спектрометре. Удельная эффективная активность цезия-137 составила не более 150 Бк/кг. В качестве вяжущего применялся портландцемент марки М500 Д0 и гипс строительный Г-12. Для определения

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

физико-механических показателей формовались балочки, размером 4×4×16 см. Определение прочности на сжатие производилось по ГОСТ 310.4-81 после 14 и 28 суток твердения композиционного материала на основе цемента, после суток твердения в воздушной среде композиционного материала на основе гипса.

Известно, что имеются составляющие компоненты как древесины, так и заполнителей растительного происхождения, которые отрицательно влияют на твердение цемента. К таким веществам относятся в первую очередь сахара, кислоты, дубильные вещества, камеди, фенолы и хиноны. Мономерные сахара (например, глюкоза, ксилоза, сахароза и дериваты глюкуроновой и аскорбиновой кислот) в небольших количествах в растворе (до 0,125%) улучшают процессы схватывания, а при концентрациях 0,25 % и более исключают всякое схватывание цемента [1]. Поэтому в качестве минерализатора заполнителей использовалась известь и хлорид железа для составов на основе цемента. Заполнители обрабатывались в 10% растворе извести и 2% растворе хлорида железа.

Для установления влияния указанных добавок, в которых обрабатывались заполнители, были проведены исследования, результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Предел прочности при сжатии композитов с различными минерализаторами

| № | Наименование   | Предел прочности при сжатии через 14 суток твердения, МПа | Предел прочности при сжатии через 28 суток твердения, МПа |
|---|--|---|---|
| 1 | Композит с использованием необработанных опилок                          | 1,4   | 2,2   |
| 2 | Композит с использованием опилок, обработанных в растворе хлорида железа | 4   | 4,4   |
| 3 | Композит с использованием опилок, обработанных в известковом растворе    | 3,4   | 3,8   |

Установлено, что изменение Ц/Д существенно влияет на реологические свойства смеси, качество формования и прочностные показатели материала [2]. Поэтому, требовалось рассмотреть, как изменяется прочность и плотность ДЦК и ДГК в зависимости от соотношения компонентов.

В данной работе варьировалось значение Ц/Д от 0,5 до 5 с различными заполнителями и видами вяжущего (таблица 2).

Как видно из таблицы 2, применение альтернативных видов заполнителей в получении цементных композитов позволяет снизить их среднюю плотность до 600...700 кг/м<sup>3</sup>, вместо 800...900 кг/м<sup>3</sup> при использовании опилок.

Применение костры льна, шелухи гречки и проса в сочетании с гипсовым вяжущим позволяет уменьшить среднюю плотность композитов до 450...700 кг/м<sup>3</sup>, вместо 800...900 кг/м<sup>3</sup> при применении опилок, при незначительном снижении значения предела прочности при сжатии (таблица 3).

**Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии**

Таблица 2 – Физико-механические характеристики композитов на основе цемента

| № | Наименование<br>заполнителя | Ц/Д | В/Ц  | Средняя<br>плотность,<br>кг/м <sup>3</sup> | Предел прочности<br>при сжатии, МПа | Коэффициент<br>теплопроводности,<br>Вт/м°С |
|---|-----------------------------|-----|------|--|-------------------------------------|--|
| 1 | Опилки смешанных пород      | 4,5 | 0,6  | 900  | 4                                   | 0,54                                       |
| 2 | Костра льна                 | 4   | 0,6  | 703  | 4,2                                 | 0,484                                      |
| 3 | Шелуха проса                | 4   | 0,55 | 621  | 2,6                                 | 0,458                                      |
| 4 | Шелуха гречки               | 3,6 | 0,62 | 615  | 3,2                                 | 0,456                                      |

Таблица 3 - Физико-механические характеристики композитов на основе гипса

| № | Наименование<br>заполнителя | Г/Д | Г/Ц  | Средняя<br>плотность,<br>кг/м <sup>3</sup> | Предел прочности<br>при сжатии, МПа | Коэффициент<br>теплопроводности,<br>Вт/м°С |
|---|-----------------------------|-----|------|--|-------------------------------------|--|
| 1 | Опилки смешанных пород      | 5   | 0,83 | 870  | 4                                   | 0,53                                       |
| 2 | Костра льна                 | 4,5 | 0,66 | 664  | 4,6                                 | 0,472                                      |
| 3 | Шелуха проса                | 5   | 0,66 | 480  | 2,2                                 | 0,41                                       |
| 4 | Шелуха гречки               | 5   | 0,66 | 450  | 3,7                                 | 0,399                                      |

### Заключение

Обоснована возможность применения таких видов заполнителей растительного происхождения, как костры льна, шелухи проса и гречки для получения эффективных композитов с коэффициентом теплопроводности 0,4...0,48 Вт/м°С.

### Литература

- 1 Щербаков, А.С Арболит. Повышение качества и долговечности [Текст] /А.С.Щербаков, Л.П.Хорошун, В.С.Подчуфаров - М.-: Лесн. пром-сть, 1979.– 15 с.
- 2 Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции [Текст] / И.Х.Наназашвили. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.

## **1.10 МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТА АКТИВИРОВАННЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ, ПОЛУЧЕННЫМИ НА ОСНОВЕ НЕФЕЛИНОВОГО ШЛАМА**

**Плотников В.В. (БГИТА, г.Брянск, РФ)**

*В статье представлены результаты исследований по модифицированию цементных композиций активированными наноструктурами, полученными в процессе высокоимпульсной гидродинамической активации различных промышленных отходов.*

Для целенаправленного влияния на процессы структурообразования цементных композиций, приводящих к повышению как ранней, так и поздней прочности искусственного камня, модификаторы должны обладать следующими свойствами:

1. Быть кристаллохимическим аналогом основных продуктов гидратации портландцемента;

2. Иметь развитую, энергетически насыщенную поверхность, обладающую большой адсорбционной способностью по отношению к ионам, насыщающим цементную фазу твердеющего цемента;

3. Способствовать в результате создания локальных пересыщений образованию зародышей кристаллов и прочных кристаллических сростков, устойчивых против перекристаллизации в процессе твердения цемента.

Проведенные ранее исследования показали, что активированные кристаллогидраты, полученные на основе белита ( $C_2S$ ), обладают перечисленными выше свойствами, однако не представляется возможным их получение в связи с дороговизной производства  $C_2S$  [1,2,3]. Поэтому целью дальнейших исследований являлось изыскание промышленного отхода или попутного продукта, содержащего минерал  $C_2S$  в большом количестве.

При комплексной переработке нефелинов, в результате которой выпускаются глинозем (перерабатываемый в дальнейшем в металлический алюминий), сода и другие виды щелочей, получается нефелиновый шлам, содержащий примерно 80% двухкальциевого силиката, который частично гидратирован. В нефелиновом шламе имеются также небольшие количества трехкальциевого гидроалюмината, алюмосиликатов кальция и натрия.

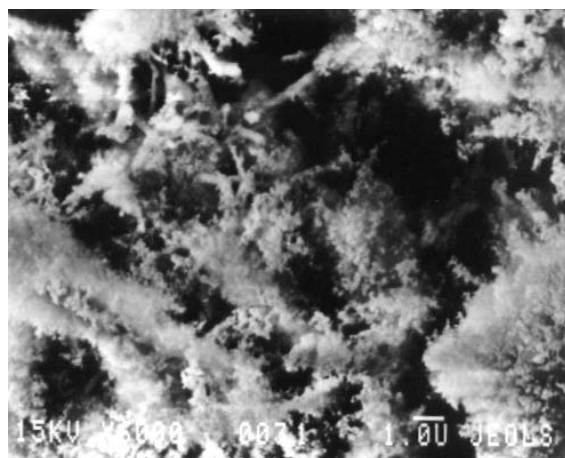
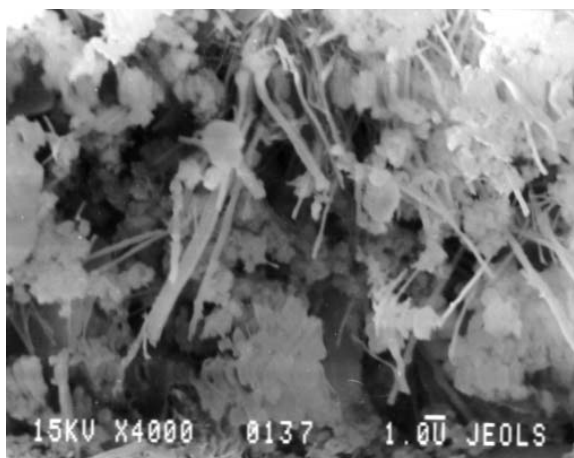
Активированные наноструктуры готовилась путем гидратации нефелинового шлама в роторно-пульсационном аппарате при  $V/T=10$  до степени гидратации  $C_2S$  ( $d=1,87 \text{ \AA}$ ) – 70-80%. Полученная добавка состояла из мельчайших частиц размером менее 0,01 мкм и нитевидных кристаллов, состоящих в основном из гидросиликатов кальция длиной до 10-15 мкм (рисунок 1). Активированные кристаллогидраты имели развитую удельную поверхность – 80-90  $m^2/kg$  (по БЭТ) и характеризовались высокой степенью конденсации кремнекислородных анионов, которая приближалась к степени конденсации полицепочечных силикатных анионов.

В целях изучения влияния добавки активированных кристаллогидратов, полученных на основе нефелинового шлама, на гидратацию и твердение цементов изготавливались образцы размером  $4 \times 4 \times 16$  см из цементного теста с  $V/C=0,5$ . Активированные кристаллогидраты вводились в цемент на основе клинкера Воскресенского цементного завода в количестве 2,3 и 5 %.

При введении активированных кристаллогидратов в цемент происходит быстрая адсорбция ионов  $Ca^{2+}$ ,  $OH^-$ ,  $SO_4^{2-}$  на их активных центрах. Концентрация адсорбированных ионов в местах с наиболее дефектной структурой и энергетически ненасыщенной поверхностью значительно превышает концентрацию ионов в жидкой фазе твердеющего цемента. Это создает условия для образования многочисленных центров кристаллизации при

**Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии**

относительно невысоком общем пересыщении раствора (рис. 1,б), что значительно ускоряет твердение цементного камня. Результаты испытаний образцов из цементного камня на прочность приведены в таблице 1.



**а.**

**б.**

Рисунок 1 - Микроструктура активированных наноструктур, полученных на основе нефелинового шлама (а) и их влияние на начальную стадию гидратации цемента (б)

Таблица 1- Прочность образцов размером 4×4×16 см из цементного камня с включением активированного нефелинового шлама

| № п/п | Вид цемента                         | Количество добавки, мас. % | Предел прочности, МПа        |    |    |    |                              |     |     |     |
|-------|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------|----|----|----|------------------------------|-----|-----|-----|
|       |                                     |                            | при изгибе, в возрасте, сут. |    |    |    | при сжатии, в возрасте, сут. |     |     |     |
|       |                                     |                            | 1                            | 3  | 7  | 28 | 1                            | 3   | 7   | 28  |
| 1.    | Воскресенский портландцемент М"400" | 0                          | 8                            | 26 | 44 | 75 | 27                           | 95  | 152 | 360 |
| 2.    | - " -                               | 2                          | 18                           | 34 | 57 | 83 | 86                           | 186 | 280 | 470 |
| 3.    | - " -                               | 3                          | 22                           | 38 | 62 | 87 | 125                          | 235 | 344 | 530 |
| 4.    | - " -                               | 5                          | 27                           | 41 | 67 | 90 | 140                          | 275 | 405 | 580 |

Анализ полученных данных показал, что увеличение концентрации вводимой добавки значительно повышает прочность образцов при сжатии и изгибе. В первые сутки твердения прочность образцов с активированными кристаллогидратами в количестве 5 % возросла при изгибе в 3,37 раза, при сжатии – в 5,1 раза.

Отличительной особенностью образцов с активированными кристаллогидратами, полученными на основе нефелинового шлама, от образцов с добавками, полученными на основе  $C_3A$ ,  $C_4AF$ ,  $C_3S$  и цемента, является равномерный рост прочности и в поздние сроки твердения как при сжатии, так и при изгибе.

Повышение прочности образцов при изгибе на 20% и при сжатии на 61% через 28 суток твердения, при одинаковой степени гидратации цемента с контрольными образцами (таблица 2), свидетельствует об определяющей роли

**Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии**

в увеличении прочности системы в целом образовавшихся на ранних стадиях высокопрочных, устойчивых к перекристаллизации гидросиликатов кальция.

Таблица 2 - Степень гидратации и общая пористость образцов из цемента с добавкой активированного нефелинового шлама

| №  | Вид цемента            | Количество вводимой в цемент добавки, % | Степень гидратации в возрасте, сут |    | Общее количество пор размером 1-10000 нм, м <sup>3</sup> /кг×10 <sup>-3</sup> в возрасте, сут |       |
|----|------------------------|---|------------------------------------|----|---|-------|
|    |                        |   | 1                                  | 28 | 3   | 28    |
| 1. | Портландцемент М "400" | –                                       | 32                                 | 64 | 0,92  | 0,462 |
| 2. | - “ -                  | 2                                       | 34                                 | 65 | 0,81  | 0,221 |
| 3. | - “ -                  | 5                                       | 35                                 | 66 | 0,78  | 0,169 |

Исследование фазового состава гидратных новообразований, возникающих при твердении портландцементов, проведенное методами рентгеновского и дифференциально-термического анализов, показало, что при введении активированных кристаллогидратов фазовый состав цементного камня в возрасте 3 и 28 суток практически не меняется.

С увеличением времени твердения на рентгенограммах цементного камня с добавкой активированных кристаллогидратов по сравнению с рентгенограммами бездобавочного цемента наблюдается значительно меньшая интенсивность линий с  $d=4,93; 2,62; 1,93 \text{ \AA}$  и других, соответствующих гидроксиду кальция. При анализе кривых ДТА также обнаружено, что введение активированных кристаллогидратов в портландцемент вызывает уменьшение эндоэффекта с максимумом при  $530^{\circ}\text{C}$ , соответствующего дегидратации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , небольшое увеличение эндоэффектов с максимумами при  $200^{\circ}\text{C}$  и  $788^{\circ}\text{C}$ , относящихся к различным типам гидросиликатов кальция.

Данные электронномикроскопических исследований также свидетельствуют об уменьшении количества кристаллов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в цементном камне с активированными кристаллогидратами, приготовленными на основе нефелинового шлама (рисунок 2). Цементный камень без добавок содержит через 28 суток твердения большое количество крупных кристаллов портландита (рисунок 2,а). При электронно-микроскопическом исследовании микроструктуры цементного камня с 5 % активированных кристаллогидратов через 28 суток твердения не обнаружено крупных кристаллов портландита. Продукты гидратации в этих образцах представлены в основном мелкими кристаллами гидросиликатов кальция чешуйчатой формы, имеющих большое количество контактов (рисунок 2, в, г).

Уменьшение в образцах с добавкой активированных кристаллогидратов гидроксида кальция – наиболее растворимого и химически активного, а следовательно, и уязвимого продукта гидратации цемента, определяет устойчивость цементного камня ко всем видам химической коррозии.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

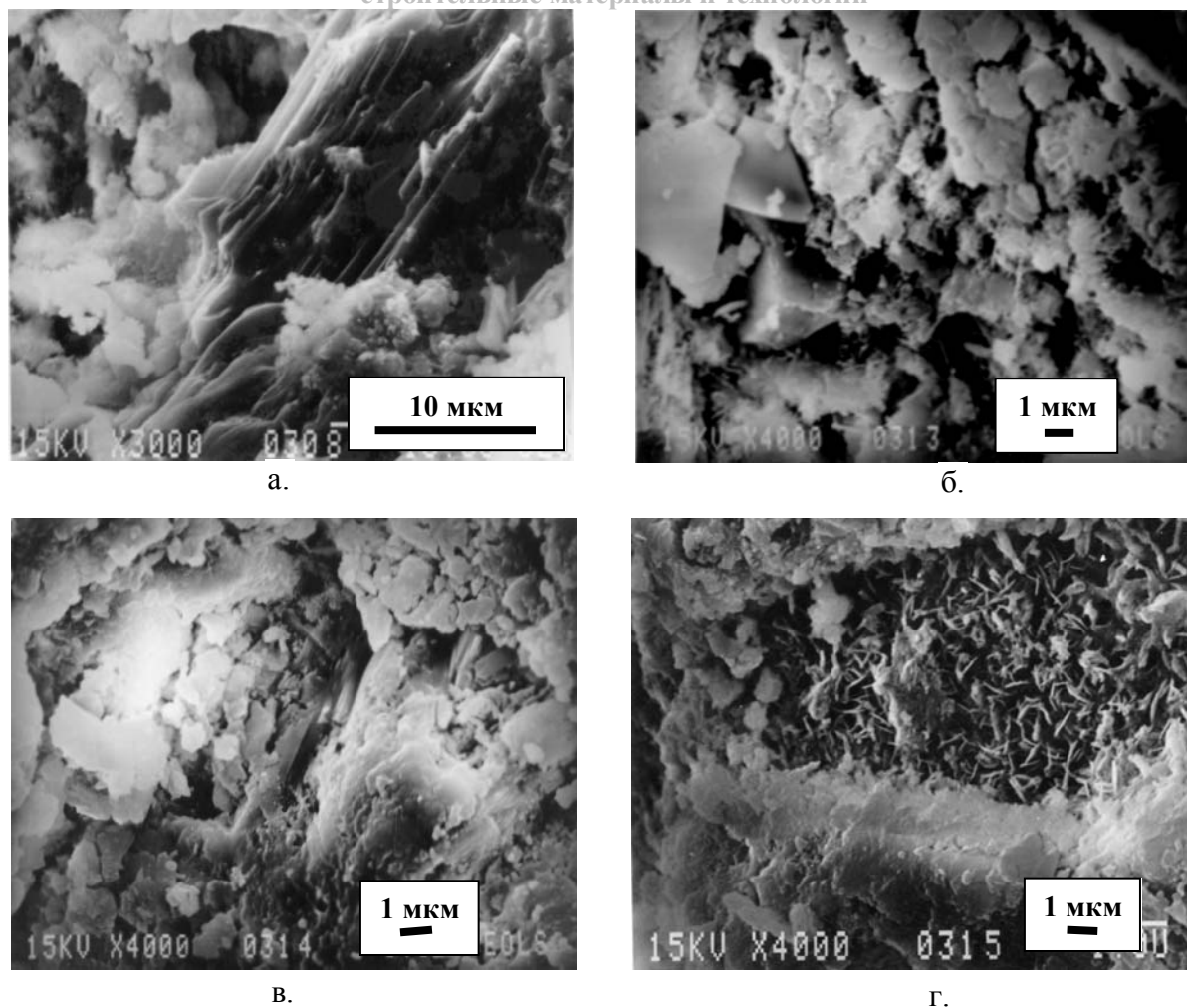


Рисунок 2 - Микроструктура цементного камня без добавок (а, б) и с включением 5 мас.% активированных кристаллогидратов, полученных на основе нефелинового шлама (в, г), 28 сут. твердения

Продолжительная обработка белита в водной среде с повышенным содержанием ПАВ позволила получить наноструктуры, при введении которых цементные композиции не твердеют в течение 20-28 часов, а затем спонтанно набирают прочность в течение 0,5-2 часов (рисунок 3). При этом благодаря введению или образованию активных кристаллогидратов на стадии активации, способствующих образованию стабильных гидратов, достигнутая высокая прочность не только не уменьшается, но и имеет тенденцию к повышению и в поздние сроки твердения. Традиционные представления об оптимальной скорости гидратообразования для набора высокой прочности цементного камня могут быть изменены при более тщательном изучении процессов ускоренного структурообразования и разработке методов управления ими.

Таким образом, путем введения наноструктур и ПАВ различной природы в совокупности с регулированием условий гидродинамической активации можно с самого начала затворения цемента водой управлять стадиями его структурообразования с целью повышения эксплуатационных свойств бетонов.



Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

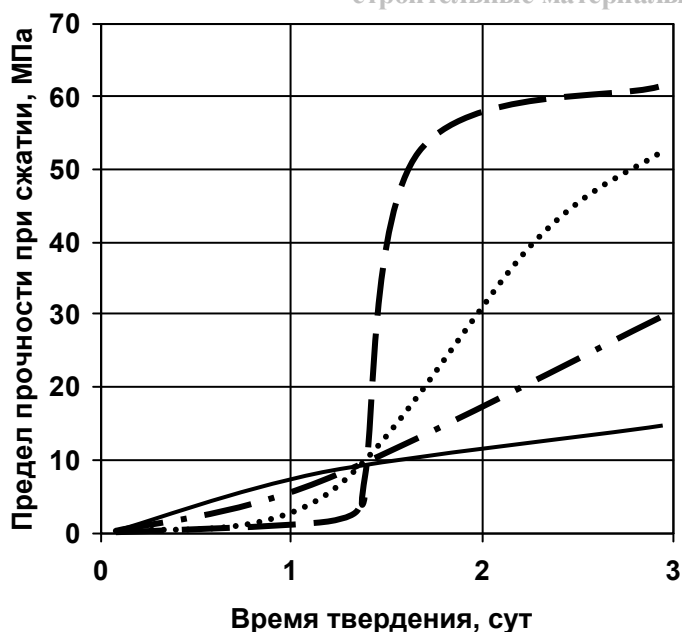


Рисунок 3 - Влияние содержания суперпластификатора и активированных наноструктур на твердение цементного камня:

1 – цемент без добавок; 2, 3, 4 – обработка цемента с содержанием пластификатора соответственно 1, 4 и 6 мас. % (в последнем случае дополнительно в процессе обработки цемента вводился 1 % активированных кристаллогидратов на основе нефелинового шлама)

### Заключение

Активированные наноструктуры, полученные на основе нефелинового шлама, являются высокоэффективным модификатором структуры цементного камня и позволяют не только интенсифицировать процессы твердения бетона, но и в значительной степени повысить его долговечность и строительно-технические свойства.

### Литература

- 1 В.В.Плотников. Интенсивная ресурсосберегающая технология монолитного бетона. - Брянск: Грани, 1997. - 112 с.
- 2 В.В.Плотников. Модифицированные вяжущие композиции. – Брянск: БГИТА, 1999.- 207 с.
- 3 Ю.М.Баженов, В.В.Плотников. Активация вяжущих композиций в роторно-пульсационных аппаратах. – Брянск: БГИТА, 2001. - 336 с.

## 1.11 ЯЧЕИСТЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОЗАЩИТОЙ

**Плотников В.В., Ботаговский М.В., Леонова М.Е., Тарасова Н.В.**  
(БГИТА, Брянск)

*В статье рассмотрены ячеистые бетоны на основе промышленных отходов для устройства ограждающих конструкций с высокой степенью теплозащиты.*

Неавтоклавный ячеистый бетон находит в последнее время все более широкое применение как высокоэффективный строительный материал,

применяемый в ограждающих стеновых конструкциях каркасных малоэтажных и многоэтажных зданий [1,2,3,4].

На кафедре «Строительное производство» пенобетона ведется разработка технологии получения высококачественного ячеистого бетона непосредственно на строительной площадке с последующей его подачей смеси в ограждающие конструкции. При этом предусматривается широкое использование местного сырья, высокодисперсных и волокнистых промышленных отходов предприятий, например зол ТЭС, опилок, костры, отходов целлюлозно-бумажной промышленности (скопа), отходов производства асбестоцементных изделий (асбестита) и т.д.

Особенностью интенсивной ресурсосберегающей технологии устройства ограждающих конструкций с высокой степенью теплозащиты является получение ячеистого бетона непосредственно на строительной площадке путем применения специального мобильного оборудования (рисунок 1). Компоненты ячеистого бетона проходят предварительную механо-химическую обработку в жидкой среде с включением активированных наноструктур и армирующих волокнистых материалов, что обеспечивает высокую гомогенизацию композиции и управление начальными и последующими стадиями ее структурообразования. Подача приготовленной смеси к месту укладки производится трубопроводами или шлангами на расстояние до 50 м.

Регулирование свойств ячеистого бетона осуществляется путем подбора состава компонентов и структурообразующих добавок, получения устойчивой пены высокой кратности, оптимизации режимов активации и других технологических переделов в процессе приготовления и укладки смесей. Технологическая схема приготовления и укладки пенобетона выглядит следующим образом: в начале с помощью пеногенератора и активатора-смесителя готовится пена необходимой кратности с включением активированных наноструктур, затем одновременно с пеной в активатор-смеситель подаются вяжущие и тонкодисперсные или волокнистые промышленные отходы, где производится их обработка в режиме высокоимпульсной гидродинамической активации в течение нескольких минут; после доведения пенораствора до необходимой кондиции активатор-смеситель переключается из режима активации в режим перекачки смеси, которая по резиновому шлангу диаметром 5 см подается в опалубку. Анализ характеристик полученных пен показал, что кратность и устойчивость пен возрастает с увеличением продолжительности их активации (рисунок 2).

Ограждающие конструкции включают защитный наружный слой, который может выполняться из различных материалов, устойчивых к атмосферным воздействиям, внутренний слой в виде несъемной опалубки, и непосредственно внутренний слой из активированного и армированного волокнистыми материалами ячеистого бетона. Для обеспечения связи разнородных слоев ограждающей конструкции используются базальтопластиковые элементы разной конфигурации.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии



Рисунок 1 - Общий вид мобильной установки для приготовления ячеистобетонной смеси на строительной площадке для устройства ограждающих конструкций с повышенной теплозащитой при возведении каркасного жилого дома из монолитного железобетона

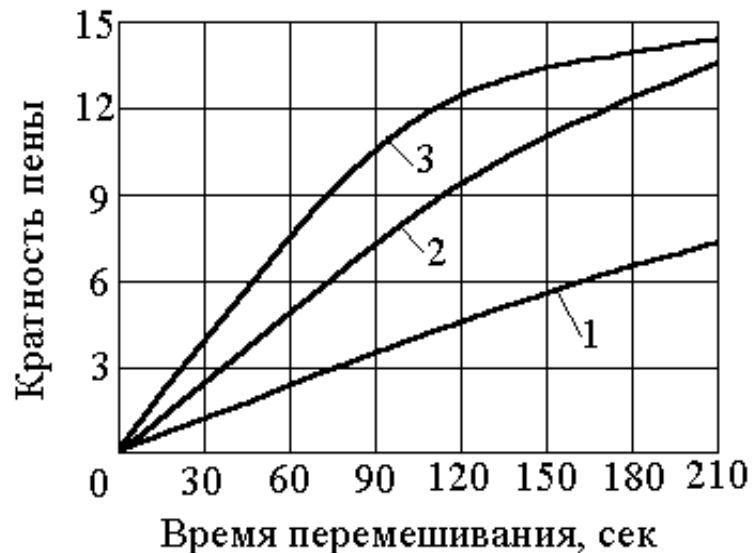


Рисунок 2 - Зависимость кратности пены от вида смесителя и времени перемешивания:  
1- перемешивание в стандартном смесителе, скорость вращения ротора – 450 об/мин; 2- перемешивание в активаторе со скоростью вращения ротора – 1500 об/мин; 3- 3000 об/мин соответственно

Для отдельных вариантов ограждающих конструкций с целью увеличения сил сцепления разнородных слоев, повышения долговечности среднего слоя и обеспечения сохранности физико-механических свойств материалов в процессе эксплуатации используется ячеистый бетон переменной плотности.

Использование ячеистого бетона переменной плотности по сечению ограждающей конструкции вызвано тем, что при эксплуатации ограждающей

конструкции со средним слоем из однородного пенобетона образуются зоны с повышенной влажностью в зоне контакта слоев вследствие конденсации водяных паров, особенно на границе силикатный кирпич - пенобетон. При воздействии отрицательных температур в зимний период в этих зонах происходит разрушение материалов, возникают раковины и пустоты, что в дальнейшем неблагоприятно сказывается на эксплуатационных характеристиках ограждающей конструкции. Для того, чтобы уйти от паробарьера на границе разнородных материалов, ставилась задача по снижению паропроницаемости пенобетона до уровня паропроницаемости кирпича путем введения полимеров.

Контроль свойств пенораствора на строительном объекте производится путем определения его удельной плотности. С учетом того, что плотность свежеприготовленной ячеистобетонной смеси до и после перекачки и укладки различна, так как часть пор всегда разрушается при движении по резиновому шлангу, контроль плотности осуществляется при укладке пенораствора в опалубку.

Электронно-микроскопические исследования структуры пенораствора показали содержание многочисленных замкнутых пор в затвердевшем вяжущем. Большая часть воздушных пор имеет размеры от 20 мкм до 300 мкм и относится к группе воздушных микропор.

Особый интерес представляют результаты исследования зависимости теплопроводности материалов, выступающих в качестве теплоизоляционных, от их плотности и условий приготовления (рисунок 3).

Для исследования адгезионных характеристик пенорастворов изготавливались лабораторные образцы, а также извлекались керны из экспериментальной стены, которая моделировала процесс твердения пенораствора в производственных условиях. Изучались изменения массы, линейные деформации и прочность сцепления ячеистого бетона с наружным и внутренним слоем ограждающей конструкции. Контактная зона между пенораствором и естественным камнем изучалась визуально и микроскопическим методом.

При исследовании затвердевшего пенораствора было установлена зависимость его прочностных и адгезионных характеристик, морозостойкости, теплоизоляционных и других свойств от вида активированных кристаллогидратов (наноструктур), времени активации компонентов, режимов твердения. Полученный пенораствор, обладающий высокой адгезией, успешно можно использовать для устройства «теплой штукатурки» для повышения теплозащиты кирпичных домов.

Композиционные материалы, полученные на основе активированных компонентов, имеют значительно более высокие показатели физико-механических свойств по сравнению с традиционными ячеистыми бетонами благодаря формированию заданной структуры, повышению количества и прочности контактов в единице объема, обеспечению условий для синтеза устойчивых к перекристаллизации кристаллогидратов.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

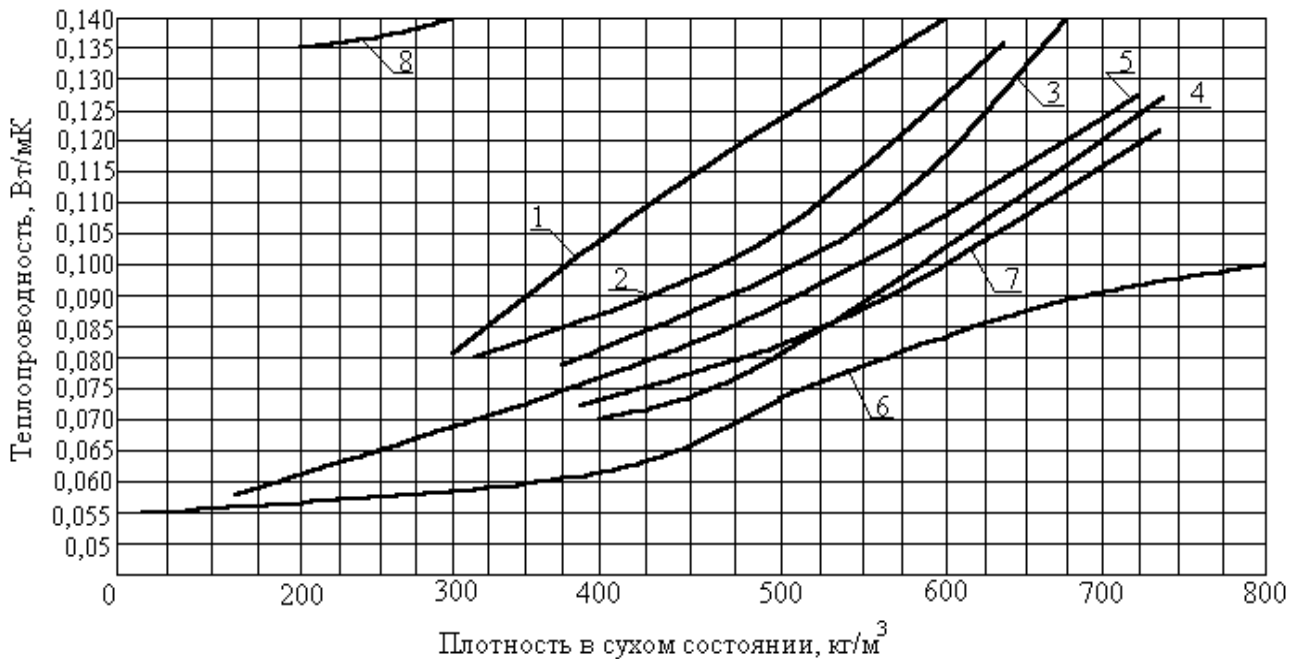


Рисунок 3 - Зависимость теплопроводности композиционных материалов от их плотности:

1 - ячеистый бетон автоклавного и неавтоклавного твердения с использованием песка; 2 - то же, с использованием золы; 3 - арболит на основе измельченной древесины; 4 - арболит на основе костры льна; 5-бисипор (материал на основе жидкого стекла, модифицированного различными добавками); 6 - ячеистый бетон с использованием активированных наноструктур и отходов бумажно-целлюлозной промышленности (скопа); 7 - активированный ячеистый бетон с включением золы; 8 -неопорбетон

### Заключение

Разработанная технология получения вяжущих композиций низкой плотности для ограждающих конструкций непосредственно на строительной площадке с предварительной активацией компонентов в жидкой среде позволяет значительно повысить физико-механические и эксплуатационные свойства ячеистого бетона и снизить себестоимость его получения за счет широкого использования высокодисперсных и волокнистых промышленных отходов и побочных продуктов.

Управление структурообразованием вяжущих композиций активированными наноструктурами на ранних и последующих стадиях твердения позволяет получать ячеистые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами для устройства и ремонта ограждающих конструкций с целью повышения теплозащиты зданий.

### Литература

1 Удачкин В.И., Смирнов В.М., Колесников В.Е., Рыбаков П.В. Классическая механоактивация в технологии пенобетона. /Строительные материалы, 2005, №7, с.31-33.

2 Управление процессами технологии, структурой и свойствами бетонов./ под ред. Е.М. Чернышова, Е.И. Шमितько. Воронеж, ГАСУ, 2002.-344 с.

- 3 Баженов Ю.М. Новый век: новые эффективные бетоны и технологии./ Ю.М.Баженов, Р.Р.Фаликман: Матер. 1 Всерос. Конф.- М. 2001, с.91-101.
- 4 А.Н.Хархардин. Дисперсное армирование поризуемых масс./Изв. Вузов «Строительство», 2007, №5, с 104-111.

## 1.12 ВЛИЯНИЕ АКТИВИРОВАННЫХ НАНОСТРУКТУР НА СИНТЕЗ И КАЧЕСТВО КЛИНКЕРОВ

**Плотников В.В.** (БГИТА, г.Брянск, РФ)  
**Кривобородов Ю.Р.** (РХТУ им.Д.И.Менделеева, Москва, РФ)

*В статье представлены результаты исследований по формированию заданной структуры клинкера благодаря воздействию активированных наноструктур, полученных на стадии гидродинамической активации сырьевого шлама.*

Одним из основных направлений получения клинкеров с новыми свойствами является интенсивное воздействие на процессы синтеза минералов. В этом ключе особое место занимают модифицированные наноструктуры, определяющие процессы, протекающие в расплаве при обжиге и при образовании основных клинкерных минералов. Модификаторы, адсорбирующиеся на дефектных местах кристаллов или по всей их поверхности, могут способствовать образованию неустойчивых смешанных кристаллов, способных интенсивно растворяться. Установлено, что в большинстве случаев комплексное влияние модифицированных наноструктур более эффективно, чем воздействие индивидуальных соединений. Эффективность применения модификаторов и катализаторов значительно возрастает при повышении гомогенности их распределения в сырьевых смесях и клинкере.

Большое значение для получения клинкера высокого качества имеет степень дисперсности сырьевых компонентов. Известно, что только при обжиге высокодисперсных хорошо гомогенизированных сырьевых смесей можно получить клинкер с более или менее равномерной кристаллической структурой [1,2].

При изучении влияния активированных наноструктур, полученных в условиях гидродинамической высокоимпульсной активации, на физико-химические характеристики сырьевых компонентов портландцементных сырьевых смесей и качество клинкера в качестве объектов исследования использовались известняк, глина, огарки Подольского цементного завода и зола Рязанской ТЭС.

Активация смеси в жидкой среде приводит к увеличению дисперсности веществ и сдвигает гранулометрический состав сырьевых компонентов в область мелких фракций, вплоть до образования коллоидных частиц. При этом агломерация частиц наблюдается при значительно более высокой дисперсности частиц, чем при измельчении сырьевых компонентов в сухом состоянии. Склонность частиц к

агрегации в жидкой среде зависит от природы вещества и уменьшается в ряду: глина-известняк-огарки-зола.

В процессе активации веществ в жидкой среде образуются активированные наноструктуры, так как интенсивное гидродинамическое воздействие приводит к изменениям в тонкой структуре вещества: нарушаются параметры кристаллической решетки, увеличивается дефектность кристаллов, наблюдаются фазовые переходы. Так, у известняка отмечено изменение фазового состава в сторону увеличения содержания арагонита (кальцит-арагонит переход).

При обработке глины частично разрушается слой, в котором Al находится в шестерной координации, повышается доля фрагментов с каркасной структурой из кремнекислородных тетраэдров. Применительно к огарку, отмечено изменение параметров кристаллической решетки  $Fe_2O_3$ . В результате активации золы частично разрушаются структуры типа кварца, появляются смешанные связи типа Si-O-Al.

Рост дисперсности и структурные изменения сырьевых материалов, подвергнутых гидродинамической обработке, приводят к повышению их реакционной способности. Данные о полноте прохождения синтеза клинкерных минералов при  $T=1300^{\circ}C$  и времени изотермической выдержки в течение 30 минут показали, что обработка «кислого» компонента повышает активность на 10% и 30%, а известняка на 58% и 68% соответственно для глинистой и зольной сырьевых смесей. Наилучшие результаты показывает одновременная активация всех компонентов сырьевой смеси (66% и 76%), что связано с повышением гомогенности и улучшением структуры шлама. Следует отметить, что лучшие результаты получены при обработке менее реакционноспособного материала, каким является зола.

Изменения структуры веществ при гидродинамической активации, фазовые переходы и деформация кристаллических решеток ведут к образованию активированных наноструктур, способствующих увеличению общей активности обрабатываемого материала и, в последующем, формированию заданной структуры в процессе обжига.

Следует отметить, что структура шлама также оказывает значительное влияние на ход минералообразования в процессе обжига сырьевой смеси.

Седиментационным анализом было определено изменение гранулометрического состава смеси в результате гидродинамического воздействия (рис.1), которые можно разбить на ряд последовательных этапов по времени.

На первом этапе происходит снижение поверхности и образование метастабильных конгломератов частиц. Склонность к их образованию объясняется, во-первых, большим приростом вновь образовавшейся поверхности в единицу времени, в результате чего в единице объема резко возрастает доля материала с нескомпенсированными связями на поверхностях скола; во-вторых, в рабочем объеме при активации материал испытывает такие сильные воздействия, как удар и кавитацию, что способствует накоплению

статического заряда частиц и возрастанию кулоновских сил между большими и малыми частицами.

При дальнейшей обработке система постепенно меняет свою структуру. В интервале времени от 0,5 до 3,0 минут наблюдается переход от значительного конгломерированного до тонкодисперсного с довольно узким гранулометрическим составом материала.

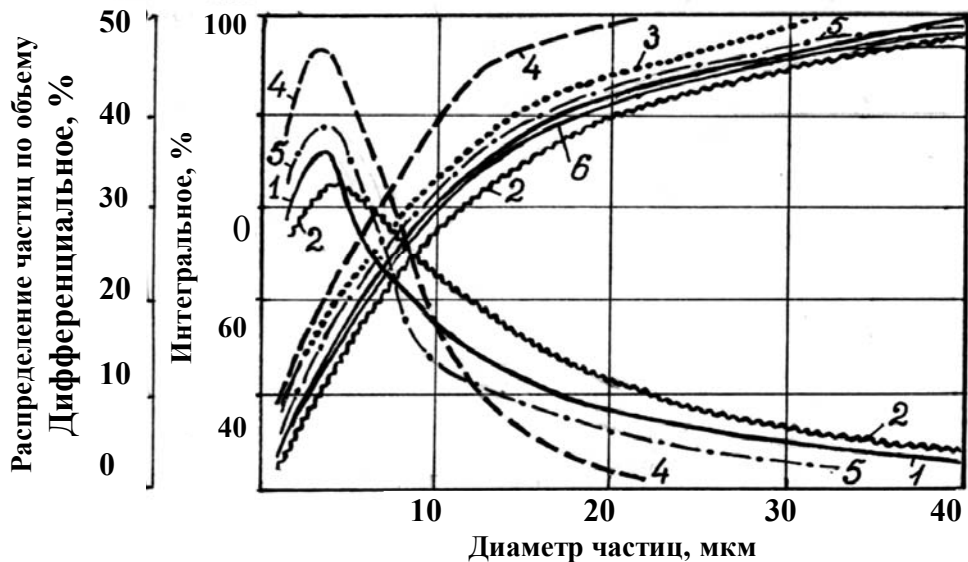


Рисунок 1- Распределение частиц по объему в зависимости от их диаметра при различном времени обработки в РПА: 1-0 мин; 2-0,5 мин; 3-1,0 мин; 4-3,0 мин; 5-5,0 мин; 6-7,0 мин

Это происходит за счет релаксации нескомпенсированных связей на поверхностях, образовавшихся первые 0,5 мин обработки. При этом распадается значительное число конгломератов, увеличивая тем самым дисперсность материала. Этот процесс сопровождается дальнейшим домолом крупных частиц, в результате чего к 3,0 мин воздействия получаем тонкодисперсный материал с узким гранулометрическим составом.

Дальнейшая обработка материала приводит к значительному замедлению темпа прироста его поверхности. После насыщения системы мелкими частицами, при дальнейшем сообщении ей энергии, она стремится скомпенсировать избыток поверхностной энергии частиц, что выражается в явлении самоорганизации структуры шлама, которое и регистрируется изменением гранулометрического состава и характеризуется образованием из мельчайших частиц компонентов сырьевой смеси агрегатов с довольно плотной упаковкой. Такие образования могут возникнуть только в высокоомогенизированной системе при сообщении ей энергии. Их образованию также в значительной степени способствует соударение продуктов размолы с большой силой, чему причиной служит явление кавитации, имеющее место при активации.

В результате, энергия рабочей зоны активатора теперь расходуется в основном на два протекающих одновременно процесса: образование преимущественно за счет кавитации агрегатов из мельчайших частиц и разрушение новообразований за счет механического и высокочастотного



воздействия. Таким образом, система стремится к равновесию этих основных процессов: образования и разрушения агрегатов, поэтому дальнейшая обработка шлама практически не приводит к изменению системы.

Возникновение подобного рода образований приводит к снижению поверхности, однако, за счет высокой степени гомогенности сырьевых компонентов в них и плотной упаковки, можно ожидать, что диффундирование частичек материала через граничный слой в процессе твердофазового синтеза будет проходить быстрее. К тому же они представляют собой идеальную «заготовку» для синтеза минерала в твердой фазе, химический состав которого будет близок к химическому составу данного образования.

Изменение гранулометрического состава и структуры сырьевого шлама вызывает изменение и его реологических свойств - растекаемости и вязкости. По истечении 5,0 мин воздействия шлам имеет достаточно высокую дисперсность и степень гомогенности. Это же время соответствует и снижению вязкости (следствие самоорганизации шлама), что является основным требованием на цементных заводах «мокрого» способа производства. Поэтому это время было выбрано для дальнейших исследований влияния гидродинамической обработки на свойства сырьевых смесей.

Для выяснения вопроса о влиянии активации и активированных наноструктур на изменение свойств веществ различного химического состава и, в конечном итоге, на качество готового продукта, были составлены сырьевые смеси с различными модульными характеристиками из известняка, глины и огарок Подольского цементного завода. Для описания влияния гидродинамического воздействия на изменение качества готового продукта (прочность цементного камня) и выяснения оптимальной области применения активации сырьевых смесей из соображений корректности описания всего массива данных, был выбран такой показатель, как процент прироста прочности цементного камня из клинкера на основе активированной сырьевой смеси относительно контрольной. Поскольку этот показатель является сложной зависимостью нескольких переменных, то наиболее наглядное представление этой зависимости дает графическое изображение (рисунок 2).

Зависимость имеет один максимум. Задав допустимое отклонение, определили оптимальную область химического состава сырьевых смесей для применения гидродинамической обработки  $КН=0,81-0,89$ ;  $п=2,2-2,7$ ;  $р=0,85-1,3$ .

Для выяснения механизма влияния активации на качество клинкеров, изучали процесс минералообразования при обжиге клинкеров из активированных и контрольных смесей. Здесь же выяснили вопрос о влиянии гидродинамического воздействия на сырьевые смеси, состоящие из материалов различных месторождений, а также с использованием техногенных продуктов. Поскольку наиболее вариационным по химическому и минералогическому составу является «кислый» компонент, то он и был выбран в качестве переменного с целью получения сопоставимых результатов, остальные компоненты сырьевых смесей оставляли постоянными.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Пользуясь полученной зависимостью (рисунок 2), были выбраны химические композиции из алитовой и белитовой областей, где зависимость свойств наиболее ярко выражены. Такими являются:  $KH=0,92$ ;  $p=2,5$ ;  $r=1,0$ ; и  $KH=0,85$ ;  $p=2,5$ ;  $r=1,0$ .

Исследования показали, что активация сырьевых смесей, по данным ДТА, снижает температуру декарбонизации на  $30-35^{\circ}\text{C}$ , а температуру полного усвоения свободного оксида кальция на  $40-60^{\circ}\text{C}$ . Как показала кинетика связывания  $\text{CaO}$ , наибольшие различия в скорости процесса минералообразования у активированных клинкеров относительно контрольных наблюдаются на стадии твердофазового спекания.

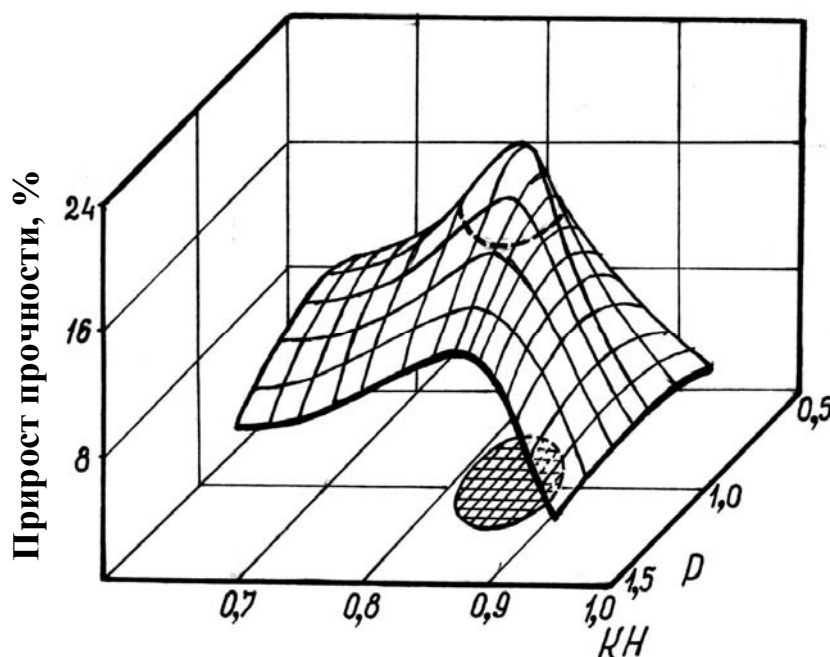


Рисунок 2- Зависимость прироста прочности цементного камня через 28 суток твердения на основе активированных сырьевых смесей по отношению к контрольным от модульных характеристик клинкеров

По результатам определения степени связывания  $\text{CaO}$  в интервале температур  $1000-1400^{\circ}\text{C}$ , были вычислены условные константы скорости клинкерообразования, с помощью которых определили энергию активации данного процесса.

В проведенных исследованиях снижение значений энергии активации синтеза клинкеров на основе активированных сырьевых смесей относительно контрольных составило  $4,36-11,95\%$  (в зависимости от химического состава сырьевых смесей и природы сырьевых компонентов), причем  $\Delta E$  увеличивается в ряду от высокоактивных сырьевых смесей к менее реакционноспособным. Следует отметить, что образование твердофазового алита зафиксировано при более низких температурах. При этом установлено, что при нагревании активированных смесей при  $1300^{\circ}\text{C}$  и выше, скорость образования алита больше, чем скорость его образования при обжиге контрольных смесей. Твердофазовый алит, видимо, служит затравкой для зарождения кристаллов

$C_3S$  при более высокой температуре, что приводит к изменению соотношения фаз в клинкере в сторону увеличения алита.

Следствием воздействия активированных наноструктур является изменение структуры алита в клинкерах. Об этом свидетельствует изменение интенсивностей основных пиков алита с межплоскостными расстояниями 2,77; 2,74; 2,60Å, а также формы пика с  $I = 1,76\text{Å}$ . Исходя из этих изменений, можно предположить, что алит в клинкерах из активированных смесей представлен ромбоэдрической модификацией, а из обычных – моноклинной при 1400°C.

Кроме качественного анализа рентгенограмм, проводился количественный анализ фазового состава клинкера. Установлено, что клинкеры, полученные обжигом из активированных смесей, имеют в своем составе больше ( $\Delta$  до 8%) алита и, соответственно, меньше белита. Также выявлено небольшое уменьшение трехкальциевого алюмината и увеличение содержания алюмоферритной фазы. Петрографический анализ полученных клинкеров подтвердил различия в фазовом составе и структуре контрольных и активированных клинкеров, которые носят общий характер независимо от модульных характеристик сырьевых смесей, подвергнутых гидродинамической обработке. Они отличаются хорошей закристаллизованностью, мелкозернистостью и относятся к типу монообластических структур. Увеличение в активированных клинкерах содержания алита, переход структуры к мелкокристаллическому строению и монообластическому типу, характеризует его как материал более высокого качества по сравнению с контрольным. Данные изменения предопределяют повышение гидратационной активности цемента и более высокие прочностные характеристики цементного камня из клинкеров, полученных на основе активированных сырьевых смесей.

С помощью дифференциально-термического анализа была установлена большая гидратационная активность цементов на основе клинкеров из активированных сырьевых смесей. Несмотря на идентичность термограмм, отражающих фазовый состав образцов одинакового возраста твердения, по глубине протекания реакций гидратации образцы из активированных сырьевых смесей значительно превосходят контрольные. Обработкой результатов определения количества связанной воды в гидратированных образцах методами математической статистики получили зависимости от времени твердения, анализ которых отчетливо свидетельствует о большей гидратационной активности, особенно в ранние сроки твердения активированных образцов. Цемент, полученный из активированного сырья (золы), обладает несколько большей гидратационной активностью, чем контрольный цемент, для получения которого в качестве “кислого” компонента использовалась глина. Так, на 14 сутки активированный цемент из зольной сырьевой смеси содержит химически связанной воды 11,5%, а из глинистого – 10,0%, на 28 сутки соответственно 16,6 и 16,1%. Эти данные свидетельствуют о том, что, используя гидродинамическую обработку сырьевых смесей, можно повысить гидратационную активность цементов, получаемых из низкорекреационного сырья практически до уровня цементов, получаемых из традиционного сырья.

Электронно-микроскопические исследования показали, что цементы на основе клинкеров из активированных в жидкой среде сырьевых смесей в 28 суточном возрасте имеют значительно более плотную и лучше закристаллизованную структуру. Такой характер структуры цементного камня из активированных сырьевых смесей обеспечивает более высокие прочностные показатели цементного камня, прирост которых составил 10-25%.

Для проверки адекватности результатов, полученных при обработке модельных сырьевых смесей, для реальных заводских смесей различного химического и минералогического состава были подвергнуты обработке сырьевые смеси Брянского, Воскресенского, Липецкого и Навоийского цементных заводов, состоящие из таких сырьевых компонентов, как мел, известняк, мергель, глина, сланцы.

Кинетика усвоения свободного СаО показала значительное повышение реакционной способности активированных заводских смесей по сравнению с контрольными, причем наибольшая разница в скорости усвоения СаО наблюдается в интервале температур 1150-1350°C.

Изучение изменения объема сырьевых гранул в процессе обжига позволяет констатировать улучшение спекаемости клинкерных гранул. Увеличение объемной осадки достигает 5%, что свидетельствует о значительном изменении структуры и свойств клинкеров.

Микроструктура заводских клинкеров из сырьевых смесей, подвергнутых гидродинамической обработке, отличается хорошей закристаллизованностью, монокристалличностью и большим содержанием алита.

### Заключение

Таким образом, активированные наноструктуры, образовавшиеся на стадии гидродинамической обработки сырьевых смесей, приводят к повышению качества конечного продукта благодаря ускорению процессов минералообразования и перехода структуры к мелкокристаллическому строению монодоластического типа.

### Литература

1. Plotnikow, Kriwoborodow. Erhöhung der effektiven Nutzung von Krattwerksaschen in Betonen. - Shternationale Baustoff - und Silikattagund, Weimar, 1988.- p.35.
2. Plotnikow, Kriwoborodow. A. Hidrodinamikai aktivacio hatasa a cementek Szilardu laci fol damatadra, Epitoanyag, 1988.-p. 230.

### 1.13 МОДИФИКАЦИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НАНОСТРУКТУРНЫМ ШУНГИТОВЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

**Пыкин А.А.** (БГИТА, г. Брянск, РФ)

*В работе представлены результаты исследований по использованию шунгитового наполнителя для модификации мелкозернистого бетона.*

В последнее десятилетие возрастающими темпами развивается направление наноструктурирования многих материалов, в том числе строительных, базирующихся на применении нанодобавок.

В качестве наночастиц в бетонах используют углеродные нанотрубки, фуллерены разных модификаций и другие упорядоченные однослойные или многослойные углеродные материалы. Добавление их в бетонную смесь позволяет получать высококачественные бетоны [2].

*Фуллерены и фуллереноподобные материалы (фуллероиды)* представляют собой гигантские каркасные однослойные либо многослойные молекулы, составленные из сочетания углеродных гексагонов и пентагонов.

Благодаря своему сетчато-шарообразному строению фуллерены оказались идеальными наполнителями и идеальной смазкой. Они «катаются, словно шарики» размером с молекулу, между трущимися поверхностями [3].

Комбинируя внутри углеродных шаров разные атомы и молекулы, можно создавать самые фантастические материалы будущего.

Углеродные нанотрубки представляют собой полый объект в виде вытянутого в трубу тора, боковая поверхность которого сложена из шестиугольников (как в гексагональной кристаллической решетке графита), а торцы представлены половинками фуллеренов. Они могут быть однослойными и многослойными.

Нанотрубки ведут себя в цементном растворе как «зародыши» кристаллов, но поскольку они имеют не точечную, а протяженную форму, кристаллы образуются вытянутые. Разрастаясь, кристаллы переплетаются, частично прорастают друг в друга и образуют пространственную сеть, пронизывающую и связывающую в единое целое весь цементный камень [3].

В настоящее время одним из перспективных направлений в производстве строительных материалов является получение композитов, модифицированных природным фуллероидным наноматериалом – шунгитом.

*Шунгит* – древнейший углеродосодержащий минерал на планете, представляющий собой метаморфизованный каменный уголь, который является переходной стадией от антрацита к графиту. В отличие от последних шунгит имеет необычную глобулярную углеродную матрицу, представляющую собой кластеры размером 10 нм.

Структурное строение шунгитового углерода с его высоким внутренним энергетическим потенциалом характеризует шунгит высокой плотностью, прочностью, твердостью, исключительной инертностью ко всем сильноагрессивным средам.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Средняя плотность шунгита составляет 2100-2400 кг/м<sup>3</sup>, твердость по шкале Мооса – 4-5. Предел прочности при сжатии колеблется в пределах от 150 до 300 МПа, при изгибе – 37-55 МПа.

Необычны и своего рода уникальны свойства дисперсий шунгита. Их частицы в структуре цементного камня практически не имеют адгезии, что подтверждает способность шунгита к формированию порового пространства, не заполненного твердой фазой новообразований цементного камня [1].

В аспекте вышеизложенных общих положений были выполнены исследования по направлению модификации мелкозернистого бетона (МЗБ) дисперсным шунгитом.

Для приготовления бетонной смеси применялись следующие материалы: портландцемент марки ПЦ 500 Д0 Мальцовского цементного завода, песок кварцевый намывной (п. Свень, Брянская обл.), шунгитовый наполнитель в качестве добавки, полученный путем помола в роторной мельнице, и вода.

Шунгит, измельченный в роторной мельнице в течение 1 ч, имеет в своем составе более мелкие фракции по сравнению с портландцементом и шунгитовым порошком, полученным путем помола в течение 30 мин (рисунок 1). Данное обстоятельство выгодно с точки зрения эффективной микромодификации мелкозернистого бетона шунгитовой добавкой – носителем фуллереновых наночастиц.

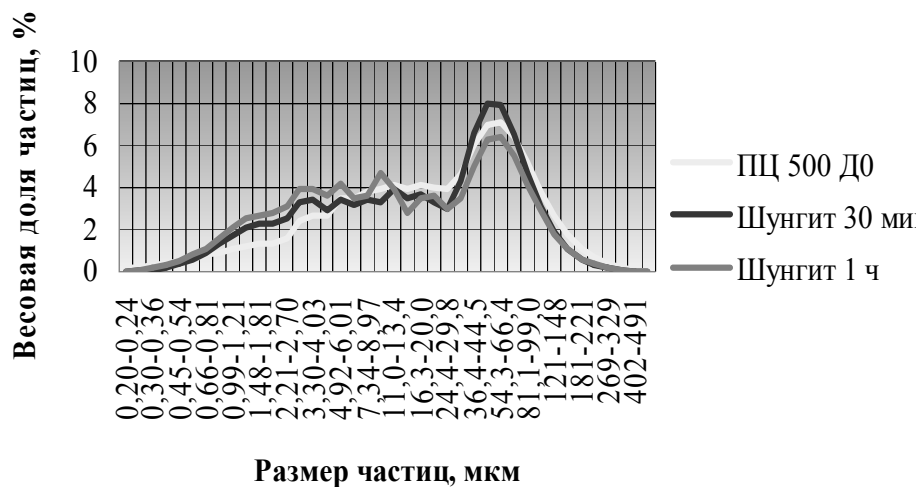


Рисунок 1 – Графики распределения частиц дисперсных материалов

Для изучения влияния полученной шунгитовой добавки, а также содержания цемента и водоцементного отношения на подвижность и прочность МЗБ использовался метод ортогонального центрального композиционного планирования эксперимента.

При этом варьировались следующие факторы (таблица 1): содержание цемента (Ц = 300-500 г), содержание добавки шунгитового наполнителя (ШН = 5-15%), водоцементное отношение (В/Ц = 0,3-0,5) (при постоянном содержании кварцевого песка).

Выбор факторов и уровней варьирования осуществлялся исходя из технологической и экономической целесообразности. Варьирование факторов

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

преследовало цель выявления их рационального значения, обеспечивающего получение материала с заданными характеристиками.

Таблица 1 – Факторы и уровни варьирования

| Факторы                 |                     | Уровни варьирования |     |     | Интервал варьирования |
|-------------------------|---------------------|---------------------|-----|-----|-----------------------|
| в натуральном виде      | в кодированном виде | -1                  | 0   | +1  |                       |
| Содержание цемента, г   | $X_1$               | 300                 | 400 | 500 | 100                   |
| Содержание ШН, %        | $X_2$               | 5                   | 10  | 15  | 5                     |
| Водоцементное отношение | $X_3$               | 0,3                 | 0,4 | 0,5 | 0,1                   |

После статистической обработки экспериментальных данных были получены уравнения регрессии, количественно характеризующие влияние цемента, добавки ШН и водоцементного отношения на свойства бетонной смеси и прочностные характеристики МЗБ.

Подвижность бетонной смеси описывается следующим полученным уравнением:

$$y_1 = 99,1 - 1,5x_1 - 5,6x_2 + 10,5x_3 + 6,7x_1^2 + 5,8x_2^2 + 6,7x_3^2 + 0,5x_1x_3 + 0,5x_2x_3.$$

Увеличение содержания добавки ШН от 5 до 15 % при расходе цемента 300 г и В/Ц = 0,3 приводит к снижению подвижности смеси от 112 до 100 мм. При максимальном В/Ц = 0,5 изменение содержания шунгитового наполнителя от 5 до 15% также вызывает уменьшение подвижности бетонной смеси от 133 до 120 мм. При максимальном содержании цемента (500 г) и минимальном расходе воды (В/Ц = 0,3) роль добавки ШН также значительна. Возрастание содержания ШН в смеси от 5 до 15 % приводит к уменьшению подвижности от 108 до 96 мм.

Предел прочности при сжатии через 3 суток твердения выражается следующей зависимостью:

$$y_2 = 1,25 + 2,02x_1 + 0,06x_2 + 2,43x_3 + 1,58x_1^2 + 0,26x_2^2 + 0,83x_3^2 - 0,19x_1x_2 + 1,51x_1x_3 - 0,83x_2x_3.$$

Из данного уравнения видно, что увеличение содержания ШН от 5 до 15 % при минимальном В/Ц = 0,3 и цементе 300 г предел прочности при сжатии через 3 суток твердения уменьшается от 0,6 до 0,3 МПа, т.е. в 2 раза. При расходе цемента 500 г и В/Ц = 0,3 увеличение содержания в смеси добавки ШН ведет к увеличению  $R_{сж}^3$  от 0,6 до 2,0 МПа, т.е. в 3,3 раза. Увеличение В/Ц до 0,5 и повышение добавки ШН от 5 до 15 % в смеси при максимальном расходе цемента приводит к снижению предела прочности при сжатии через 3 суток твердения от 10,1 до 8,9 МПа.

Предел прочности при сжатии через 28 суток твердения описывается следующим уравнением:

$$y_3 = 1,27 + 3,61x_1 + 0,46x_2 + 2,4x_3 + 3,91x_1^2 + 1,12x_2^2 + 2,23x_3^2 - 0,8x_1x_2 + 2,9x_1x_3 + 0,48x_2x_3.$$

Изменение содержания добавки ШН от 5 до 15% при минимальном значении В/Ц = 0,3 и расходе цемента 300 г приводит к снижению предела прочности при сжатии через 28 суток твердения от 1,6 до 0,9 МПа, т.е. в 1,8 раза, а при максимальном В/Ц = 0,5 значение  $R_{сж}^{28}$  возрастает от 2,8 до 9,1 МПа, т.е. в 3,3 раза. При максимальном расходе цемента 500 г и минимальном В/Ц = 0,3 прочность при сжатии образцов через 28 суток твердения возрастает с 2,5 до 3,7 МПа, т.е. 1,5 раза, а при максимальном В/Ц = 0,5 увеличение содержания ШН приводит к снижению прочности от 20,4 до 18,4 МПа. Увеличение доли цемента в смеси от 300 до 500 г при В/Ц = 0,3 и ШН = 5% вызывает рост прочности МЗБ от 1,6 до 2,5 МПа, т.е. в 1,6 раза, при ШН = 15% - от 0,9 до 3,7 МПа, т.е. 4,1 раза. При максимальном В/Ц, равном 0,5, увеличение прочности бетона при возрастании доли цемента от 300 до 500 г больше, чем при минимальном В/Ц, для МЗБ с добавкой ШН = 5% предел прочности при сжатии через 28 суток твердения изменяется от 2,8 до 20,4 МПа, т.е. 7,3 раза. Но при ШН = 15%  $R_{сж}^{28}$  возрастает меньше, чем при В/Ц = 0,3, от 9,1 до 18,4 МПа, т.е. в 2 раза.

Уравнение регрессии предела прочности при изгибе через 28 суток твердения имеет следующий вид:

$$y_4 = 0,33 + 0,41x_1 - 0,13x_2 + 0,34x_3 + 0,36x_1^2 - 0,04x_2^2 + 0,33x_3^2 - 0,09x_1x_2 + 0,28x_1x_3 - 0,17x_2x_3.$$

Из данного уравнения видно, что увеличение содержания ШН от 5 до 15% при минимальном В/Ц = 0,3 и цементе 300 г предел прочности при изгибе через 28 суток твердения уменьшается от 0,35 до 0,2 МПа, т.е. в 1,8 раза. При расходе цемента 500 г и В/Ц = 0,3 увеличение содержания в смеси добавки ШН ведет к увеличению  $R_{изг.}^{28}$  от 0,5 до 0,8 МПа, т.е. в 1,6 раза. Увеличение В/Ц до 0,5 и повышение добавки ШН от 5 до 15% в смеси при максимальном расходе цемента приводит к снижению предела прочности при изгибе через 28 суток твердения от 2,6 до 1,4 МПа, т.е. в 2 раза.

На основе данных расчета по уравнению регрессии построены номограммы, отражающие зависимость подвижности и прочности при сжатии и изгибе через 3 и 28 суток твердения в зависимости от содержания добавки ШН, цемента и водоцементного отношения (рисунок 2).

Полученные уравнения регрессии и построенные на основе экспериментальных данных номограммы показывают, что повышение количества добавки ШН от 5 до 15% во всех составах ведет к снижению прочности МЗБ. Это, по всей вероятности, происходит за счет разуплотнения смеси.

Наибольшей прочностью мелкозернистый бетон обладает при максимально значениях цемента (500 г), В/Ц (0,5) и минимальном количестве шунгитового наполнителя (5%). Предел прочности при сжатии через 3 суток твердения образцов с добавкой ШН возрастает в 4,4 раза по сравнению с контрольным составом МЗБ (без добавки ШН); через 28 суток – в 1,5 раза.



**Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии**

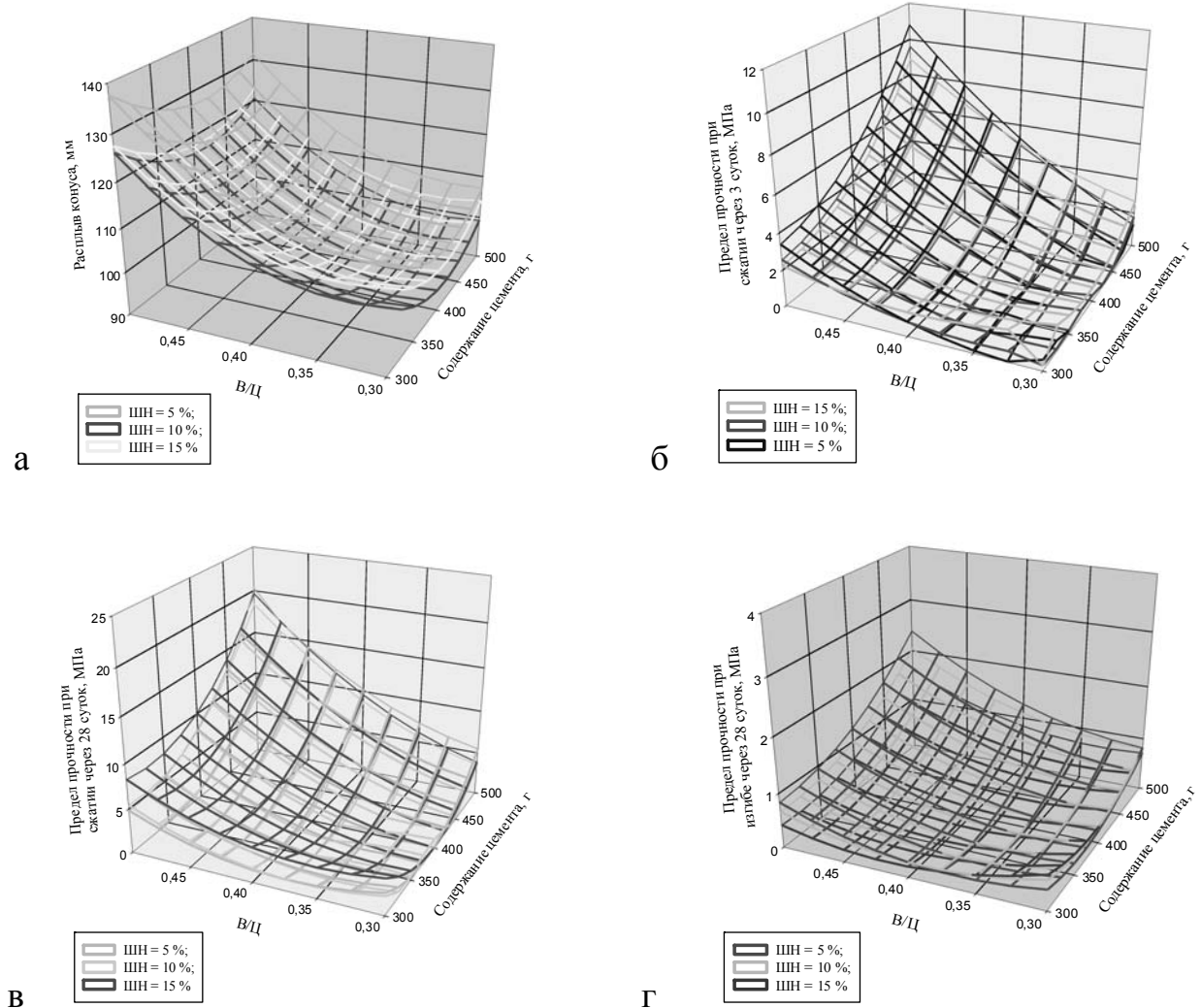


Рисунок 2 – Функции отклика подвижности бетонной смеси (а), предела прочности при сжатии через 3 (б) и 28 суток твердения (в), предела прочности при изгибе через 28 суток твердения (г)

Таблица 2 – Оптимальные составы и свойства МЗБ с добавкой ШН

| №<br>п/п | Состав МЗБ   |                  |             | Средняя<br>плотность,<br>кг/м <sup>3</sup> | Предел прочности при сжатии через<br>суток, МПа |      |
|----------|--------------|------------------|-------------|--|---|------|
|          | цемент,<br>г | добавка<br>ШН, % | вода,<br>мл |  | 3   | 28   |
| 1        | 500          | -                | 250         | 1920                                       | 2,3   | 14,7 |
| 2        | 500          | 5                | 250         | 2061                                       | 10,1  | 20,4 |
| 3        | 500          | 15               | 250         | 1878                                       | 8,9   | 18,4 |

Согласно экспериментальным данным, полученный бетон плохо работает на изгиб, что связано с шаровидной формой самих шунгитовых частиц и фуллеренов, находящихся внутри их. Такая форма, в отличие от углеродных нанотрубок, не создает армирующего эффекта.

Свойства МЗБ с добавкой ШН представлены в таблице 2 и свидетельствуют о улучшенных физико-технических характеристиках МЗБ, модифицированного исследуемой добавкой.

### Заключение

1. Для модификации мелкозернистого бетона применялся шунгитовый наполнитель, полученный путем помола в роторной мельнице природного шунгита в течение 1 ч. Данный наполнитель содержит в своем составе более мелкие фракции по сравнению с портландцементом и шунгитовым порошком, измельченным в течение 30 мин.

2. Наибольшей прочностью мелкозернистый бетон обладает при максимальных значениях цемента (500 г), В/Ц (0,5) и минимальном количестве шунгитового наполнителя (5%).

3. Предел прочности при сжатии через 3 суток твердения образцов с добавкой ШН возрастает в 4,4 раза по сравнению с контрольным составом МЗБ (без добавки ШН); через 28 суток – в 1,5 раза.

### Литература

1 Комохов, П.Г, Александров, Н.И. Наноструктурированный радиационностойкий бетон и его универсальность [Текст] / П.Г.Комохов, Н.И.Александров // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.- 2008.- № 5.- С. 38-40.

2 Наномодифицированный мелкозернистый бетон [Текст] / Н.П.Лукутцова, Е.Г.Матвеева, А.А.Пыкин, О.А.Чудакова // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов: материалы V Международной научно-технической конференции, г. Волгоград, 23-24 апреля 2009 г. Часть I.- Волгоград: ВолгГАСУ, 2009.- С.166-170.

3 Фаликман, В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в строительстве: сегодня и завтра [Текст] / В.Р.Фаликман // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.- 2009.- № 1.- С.64-67.

## 1.14 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛЫ В ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНАХ

**Пыкин А.А., Грибанов В.Н. (БГИТА, г.Брянск, РФ)**

*Представлены результаты исследований по замене кварцевого песка в газобетоне автоклавного твердения золой ТЭС от сжигания каменных углей. Рассматриваются составы ячеистого бетона с плотностью  $(750 \pm 50) \text{ кг/м}^3$ . Замена кварцевого песка варьировалась по массе – 0; 30; 45; 60 и 100 %. Расход вяжущего был принят 290 кг на  $1 \text{ м}^3$  бетона.*

Целью исследований являлось изучение свойств автоклавного газобетона при замене кварцевого песка золой ТЭС, получаемой при сжигании каменных углей. В исследованиях применялась зола следующего химического состава, % по массе:  $SiO_2 - 37,4$ ;  $Al_2O_3 - 17,9$ ;  $Fe_2O_3 + FeO - 14,2$ ;  $CaO - 4,1$ ;  $MgO - 1,5$ ;  $SO_3 - 0,5$ . Содержание несгоревшего топлива (Донецкого бассейна) составляло до 20 %. В качестве вяжущих веществ использовали портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н – ГОСТ 31108-2003 производства ОАО «Белгородский цементный завод», молотую негашеную известь ( $CaO + MgO = 70\%$ ) и двуводный гипсовый камень. В работе применяли также кварцевый намывной песок реки Снежеть с  $M_k = 1,1-1,4$ , алюминиевую пудру ПАК-3 и добавку ОП-7.

Физико-механические характеристики определяли на образцах отвердевшего бетона размером 40x40x160 мм. Для изучения свойств раствора и газомассы применялись: вискозиметр РВ-4, пластометр конический КП-3 и другие виды лабораторного оборудования.

Ячеистый бетон средней плотностью ( $750 \pm 50$ ) кг/м<sup>3</sup> готовился в лабораторных газобетономешалках емкостью 2 л.

Подбор состава бетона производился с учетом активности смеси и заданной плотности по методике СН-277. При этом водотвердое отношение поддерживалось на уровне  $B/T = 0,40$ . Алюминиевая пудра вводилась в количестве 0,56 кг/м<sup>3</sup>.

Кварцевый песок высушивался и затем подвергался измельчению в шаровой мельнице до удельной поверхности 200-250 м<sup>2</sup>/кг. Зола мокрого удаления подсушивалась и также домалывалась до удельной поверхности 300-350 м<sup>2</sup>/кг. Количество вводимой золы вместо кварцевого песка в составах ячеистого бетона изменялось в пределах от 0 до 100 % по массе от песка.

Исследования показали, что замена кварцевого песка тонкодисперсной золой приводит к изменению структурно-механических свойств ячеистой массы, которая характеризуется пластической прочностью ( $\rho_{пл.}$ ), вязкостью ( $\eta$ ) и предельным напряжением сдвига ( $\theta$ ).

В результате экспериментов установлено, что введение золы в состав газобетона в количестве 30, 45 и 60 % незначительно влияет на изменение реологических характеристик. При дальнейшем увеличении содержания зольного компонента происходит быстрое нарастание пластической прочности. Критическое значение  $\rho_{пл.}$  оказалось равным 1000 г/см<sup>2</sup>. При этом значении заканчиваются процессы формирования структуры и начинается упрочнение.

В зависимости от состава заполнителя ячеистой массы процесс упрочнения для составов на песке начинается через 2,5-3 ч, а для золосодержащих составов – через 3,5-4 ч.

При введении золы увеличивается вязкость ячеистобетонной смеси и значение предельного напряжения сдвига [2, 3].

Проведенные опыты показали, что на изменение реологических характеристик большое влияние оказывает водотвердое отношение  $B/T$ . Снижение  $B/T$  от 0,5 до 0,38 позволяет сократить процесс формирования структуры и уменьшить сроки предварительной выдержки ячеистого бетона.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Время выдержки для газобетона (на песке) составило 2-2,5 ч, а для газозолобетона – 1,5-2 ч.

Результаты исследований кинетики газовыделения в составах при значениях  $V/T = 0,5$  показали, что процесс газовыделения заканчивается через 10-15 мин, независимо от применяемого заполнителя. К этому времени напряжение сдвига ( $\theta$ ) для газозолобетона достигало значения  $23,6 \text{ г/см}^2$ , а для газобетона на песке –  $18,8 \text{ г/см}^2$ . Вязкость ( $\eta$ ) составляла 21,4 пуаз и 9,1 пуаз, соответственно. К моменту окончания процесса формирования структуры вязкость газобетона была равна 63,9 пуаз, а газобетона на песке – 37,4 пуаз.

Параллельно с исследованиями реологических свойств определялись физико-механические характеристики ячеистых бетонов (таблица 1). Ячеистобетонные образцы изготавливались и подвергались автоклавной обработке. Выдержка перед запариванием составляла 3-4 ч. Затем проводилась тепловлажностная обработка по режиму (3 + 8 + 2) ч. Температура изотермической выдержки составляла  $174 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таблица 1 – Характеристики ячеистых бетонов

| № состава      | Расход заполнителя, кг/м <sup>3</sup> (%) |           | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Прочность при сжатии, МПа | Усадка, мм/м | Коэффициент размягчения $K_{м.р.}$ |
|----------------|---|-----------|--------------------------------------|---------------------------|--------------|------------------------------------|
|                | песка                                     | золы      |                                      |                           |              |                                    |
| 1              | 360                                       | 0         | 634                                  | 4,23                      | 0,62         | 0,75                               |
| 2              | 250                                       | 110 (30)  | 700                                  | 4,11                      | 0,63         | 0,80                               |
| 3              | 198                                       | 162 (45)  | 653                                  | 4,48                      | 0,65         | 0,82                               |
| 4              | 145                                       | 216 (60)  | 542                                  | 4,88                      | 0,68         | 0,86                               |
| 5              | -   | 360 (100) | 628                                  | 4,34                      | 0,74         | 0,80                               |
| 4 <sup>x</sup> | 145                                       | 216 (60)  | 637                                  | 5,23                      | 0,63         | 0,89                               |

Примечание – в составе 4<sup>x</sup> применялась зола, совместно измельченная с добавкой ОП-7 (содержание добавки составляло 0,1 % от массы золы)

Наибольшая прочность в образцах достигалась в случаях замены песка золой в количестве 60 % при одинаковом значении  $V/T$ . Влажность газозолобетона после запаривания превышала влажность газобетона (на песке) в среднем на 1,5-2 % по массе. По мере увеличения доли золы в составах значения усадочных деформаций увеличивались, но не превышали величин, установленных ГОСТами (около 0,7 мм/м).

При замене песка золой наблюдалось значительное повышение морозостойкости ячеистых бетонов. Так, через 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания снижение прочности составляло 14-20 % (при содержании золы от 30 до 100 %), а для газобетона на песке – 25 %.

Увеличение прочности при сжатии и повышение морозостойкости ячеистого бетона с добавкой золы обусловлены улучшением гранулометрического состава смеси и структуры отвердевшего камня. Кроме этого, происходит химическое взаимодействие золы с продуктами гидратации вяжущего и связывание гидроксида кальция золой [1, 2].

Проведенные рентгеноструктурный и дифференциально-термический анализы показывают, что продукты твердения ячеистого бетона в основном представлены низкоосновными гидросиликатами кальция группы  $CSH(e)$  и гидrogранатами.

Положительное влияние на свойства ячеистого бетона оказывает добавка ОП-7 в составах с повышенным содержанием золы. Установлено, что добавку ОП-7 целесообразно вводить при мокром помоле золы. При этом происходит адсорбция данной добавки на поверхности зольных частиц и аморфизированном глинистом веществе. Соответственно, снижается водопотребность смеси, вязкость уменьшается на 30-40%, предельное напряжение сдвига уменьшается от  $\theta = 1,33 \cdot 10^3$  до  $\theta = 0,955 \cdot 10^3$  дин/см<sup>3</sup>, усадочные деформации также снижаются.

### Заключение

1. Использование отвальных зол от сжигания твердых топлив с повышенным содержанием органических составляющих в качестве кремнеземистого заполнителя позволяет получить автоклавный ячеистый бетон марки  $M 35$  и выше с требуемыми физико-механическими характеристиками.

2. Оптимальное содержание золы составляет 40-60% от массы заполнителя ячеистого бетона.

### Литература

1 Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие [Текст] / Л.И.Дворкин, О.Л.Дворкин. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 368 с.

2 Гладких, К.В. Изделия из ячеистых бетонов на основе шлаков и зол [Текст] / К.В. Гладких. – М.: Стройиздат, 1976. – 256 с.

3 Наназашвили, И.Х. Строительные материалы и изделия: справочное пособие [Текст] / И.Х.Наназашвили, И.Ф.Бунькин, В.И.Наназашвили. – М.: ООО «Аделант», 2006. – 480 с.

## 1.15 ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ

**Строкова В.В., Шамшуров А.В. (БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, РФ)**

*Научно обоснована и экспериментально разработана энергосберегающая технология получения обжиговых строительных материалов на основе кварцевых песков.*

Проблема повышения эффективности строительства, поиск и определение путей ее разрешения всегда занимали особое место. В условиях возрастающих темпов научно-технического прогресса вопросы повышения эффективности использования материальных ресурсов приобретают решающее

значение. В особенности трудно разрешимым вопросом продолжает оставаться дефицит доступных и дешевых эффективных строительных материалов.

Для возведения зданий и инженерных сооружений требуется большое количество строительных материалов. Их стоимость, в среднем, составляет 60 % от общей стоимости строительства. В настоящее время выбор стеновых материалов огромен. Но их стоимость продолжает оставаться высокой, поэтому вопрос получения новых, более экономичных стеновых материалов остается открытым.

Перспективным направлением является разработка принципиально новых качественных, конкурентоспособных строительных материалов и изделий на основе широко распространенных, как известных, так и нетрадиционных видов сырья. Наличие многочисленных разрабатываемых месторождений кремнистых пород в центральных районах европейской части России и за Уралом, состоящих, в основном, из кристаллического кремнезема, позволяет их использовать для производства строительных материалов [1].

Основные проблемы при использовании техногенных и природных кварцевых пород, при получении обжиговых материалов, были всегда связаны с объемными эффектами, происходящими при полиморфных превращениях кристаллического кремнезема, приводящих к потере прочности спекаемых изделий [2,3]. Проведенными в БГТУ им. В.Г.Шухова исследованиями методом высокотемпературного рентгенофазового анализа было установлено значительное снижение температуры полиморфизма (формирование  $\alpha$ -кварца от 290 до 573 °С, формирование  $\alpha$ -кristобалита от 1130 до 1470 °С, формирование  $\alpha$ -кristобалита в присутствии щелочесодержащих добавок уже при 1000 °С с полным его завершением уже при 1270 °С, снижение температуры фазового перехода  $\beta$ -кварца  $\rightarrow$   $\alpha$ -кварц может достигнуть 500 °С вместо 573 °С при более его плавном и растянутом процессе) и сглаживание объемных эффектов полиморфизма кварца в присутствии щелочесодержащих добавок, что также было подтверждено методом ДТА [4].

Это и предопределило использование кварцевых пород для получения обжиговых строительных материалов, что представляет значительный интерес для народного хозяйства и науки, поскольку производство подобных материалов с применением щелочесодержащих добавок, позволяет получать экономичный, экологически чистый, а самое главное, качественный материал для строительной индустрии.

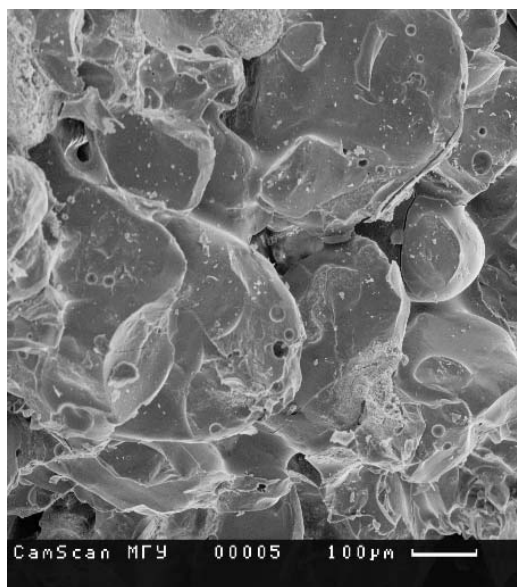
Для производства обжиговых стеновых материалов так же в качестве добавки, применяли тонкодисперсный отход электросталеплавильного цеха Оскольского металлургического комбината (ЭСПЦ ОЭМКа), который состоит в основном из оксида железа [5].

Большая удельная поверхность железосодержащей добавки пыли ЭСПЦ и некоторого количества мелкодисперсных частиц кварца, которые неизбежно присутствуют в природном кварцевом песке, в ходе подъема температуры способствуют интенсивному образованию клиноферросилита и андрадита. Это позволяет создать обволакивающее монолитное тело с заполнением пор и микротрещин в крупных зернах кварца. Монолитная часть синтезированных

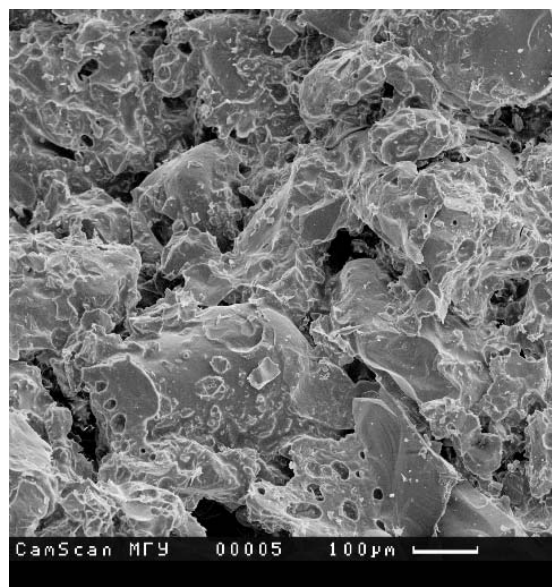
Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

изделий при температурах от 850 до 1050 °С имеет большую плотность, позволяя тем самым обеспечить и более плотную структуру всего изделия (рисунок 1).

Полученные результаты позволяют более целенаправленно управлять модификационными превращениями оксида кремния и реакциями в системе “кварц–оксид железа– щелочь” при получении обжиговых изделий на основе природных и техногенных кремнеземсодержащих материалов и добавок, а также эффективно использовать железосодержащие отвалы отходов ОЭМК.



а)



б)

Рисунок 1 – Микроструктура полученных образцов: а) без добавок, б) с 5 % пыли ЭСПЦ

С учетом полученных данных были разработаны составы образцов, основным компонентом в которых был кварцевый песок (до 93 %), пыль ЭСПЦ до 5%, мел до 5% и щелочесодержащая добавка [6]. Исследована возможность получения строительных материалов широкой функциональной гаммы, используемых для комплексного строительства. При различных комбинациях составов, в зависимости от сферы их применения, получены стандартные образцы и изделия широкой цветовой гаммы, удовлетворяющие по своим эстетическим и физико-механическим свойствам аналогичным изделиям таким как: силикатный и керамический кирпич, теплоизоляционные и облицовочные материалы на основе цемента.

Для реализации результатов исследований в промышленных условиях, разработана технологическая схема производства строительных материалов (рисунок 2), внедрение которой может быть осуществлено предприятиями по изготовлению керамического кирпича. Причем, предложенная технологическая схема значительно менее металло- и энергоемка.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

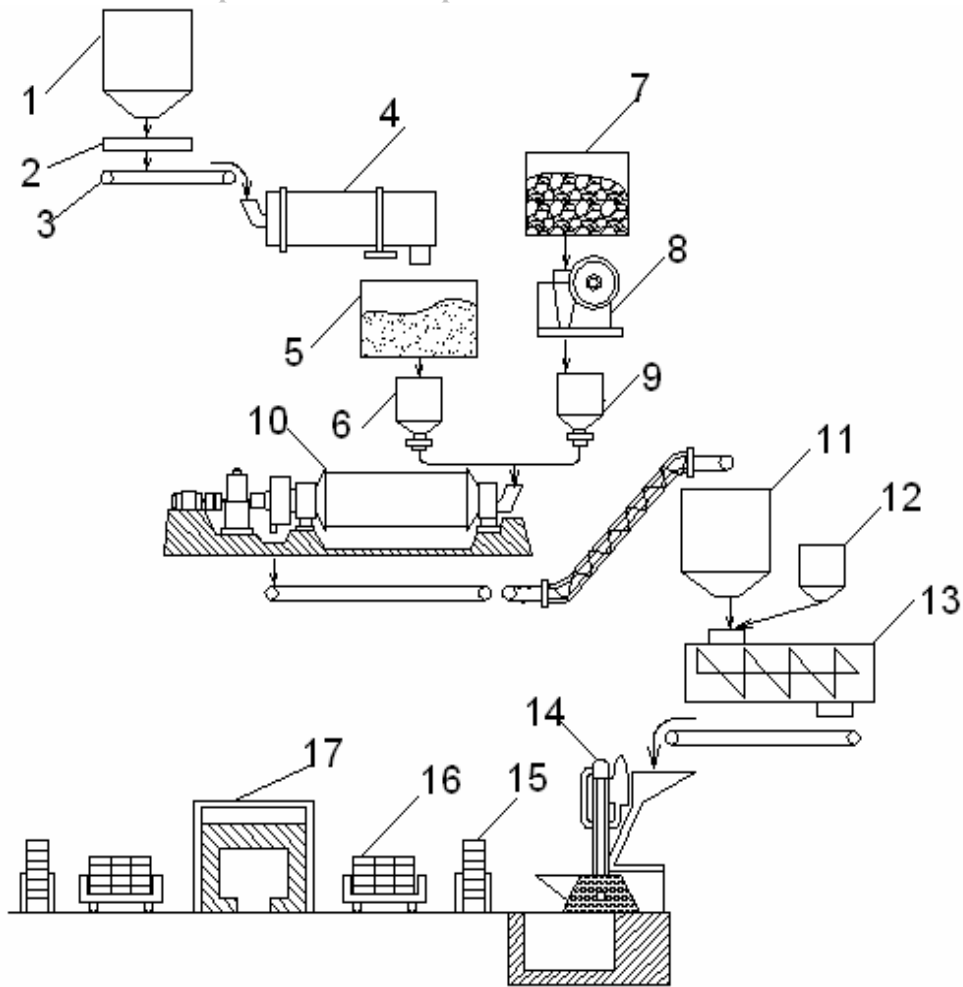


Рисунок 2 – Технологическая схема производства обжиговых изделий на основе кварцевых пород  
1 – приемный бункер; 2 – грохот; 3 – ленточный питатель; 4 – сушильный барабан; 5 – бункер с песком; 6 – расходный бункер с дозатором; 7 – бункер с добавкой; 8 – щековая дробилка; 9 – расходный бункер с добавкой; 10 – шаровая мельница; 11 – бункер с пресс-порошком; 12 – жидкая добавка; 13 – лопастной смеситель; 14 – пресс; 15 – автомат-садчик; 16 – печная вагонетка; 17 – туннельная печь.

### Заключение

1. Научно обоснована возможность получения обжиговых строительных материалов на основе кварцевого песка с добавками отхода ЭСПЦ ОЭМКа, мела и щелочесодержащих добавок.

2. Разработаны составы и получены образцы, удовлетворяющие по своим эстетическим и физико-механическим свойствам аналогичные изделия такие как: силикатный и керамический кирпич, теплоизоляционные и облицовочные материалы.

3. Для внедрения результатов исследований в промышленных условиях, разработана энергосберегающая технологическая схема производства строительных материалов, внедрение которой может быть осуществлено предприятиями по изготовлению керамического кирпича.

4. Сравнительная характеристика предложенных изделий и предварительный анализ себестоимости сырьевых материалов и технологии производства позволяют сделать вывод о перспективности предлагаемой технологии.



Литература

- 1 Строкова В.В. Влияние техногенных железосодержащих добавок на фазо- и структурообразование обжиговых кварцсодержащих строительных материалов / В.В.Строкова, Р.В.Лесовик, А.В.Шамшуров // Современные технологии в промышленности строительных материалах и стройиндустрии: Материалы Международной научно-практической конференции. – Белгород, 2005. – Ч. 10. – С. 278–280.
- 2 Стрелов К.К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К.К.Стрелов. – М.: Металлургия, 1985. – 480 с.
- 3 Прянишников В.П. Система кремнезема / В.П.Прянишников. – Л.: Стройиздат, 1971. – 237 с.
- 4 Шамшуров В.М. Особенности кинетики полиморфизма кварца по данным высокотемпературной рентгенографии / В.М.Шамшуров, В.В.Строкова, А.В.Шамшуров // Кристаллогенезис и минералогия: Сб. материалов Междунар. конф. – С.-Петербург, 2001. – С. 344–345.
- 5 Шамшуров А.В. Аспекты применения отходов ОЭМК в производстве обжиговых дорожно–строительных материалов / А.В.Шамшуров // Экология: образование, наука, промышленность и здоровье: Материалы Междунар. конгресса. – Белгород, 2004. – Ч. 6. – С. 320–321.
- 6 Строкова В.В. Влияние добавок на эксплуатационные свойства обжиговых кварцсодержащих строительных материалов / В.В.Строкова, А.В.Шамшуров // Архитектурно-строительное материаловедение на рубеже веков: Материалы докл. Междунар. интернет-конф. – Белгород, 2002. –С. 180–182.

## **1.16 ОБРАЗОВАНИЕ КРИОГЕННОЙ ФАЗЫ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Тарасова Н.В.** (БГИТА, г.Брянск, РФ)

*Строительные материалы относятся к влажным капиллярно-пористым материалам. Определение их теплофизических характеристик представляет собой сложную задачу, поскольку осуществляется взаимосвязанный перенос тепла и влаги при наличии источников (стоков) тепла, обусловленных фазовыми превращениями влаги. Фазовые переходы, происходящие в порах строительных материалов, оказывают существенное влияние на теплофизические свойства и долговечность ограждающих конструкций.*

Увлажнение ограждающих конструкций может привести к преждевременному разрушению зданий. Поскольку образование кристаллов льда на поверхности полостей, трещин и крупных пор вызывает дополнительные напряжения конструкции.

При эксплуатации зданий повышенное содержание влаги в конструкциях вызвано:

- высокой начальной технологической влажностью строительных материалов;
- повреждением гидроизоляции и капиллярным и электроосмотическим увлажнением конструкций грунтовыми водами;
- смачиванием конструкций атмосферной влагой или гигроскопическим увлажнением атмосферным и внутренним воздухом;
- конденсатным увлажнением конструкций.

Учет влажности капиллярно-пористых материалов при количественной оценке его теплофизических характеристик представляет собой сложную задачу, связанную с изучением трехфазной системы. Например, при фазовом переходе в увлажненной конструкции коэффициенты теплопроводности могут увеличиваться в 4 раза, температуропроводности – в 9 раз. Фазовые превращения сказываются и на степени морозостойкости материалов. Поэтому их учет необходим для получения корректной оценки долговечности ограждающих конструкций.

При сорбционном увлажнении в пористом материале содержится парообразная влага, которая с понижением температуры конденсируется, а затем кристаллизуется, т.е. образуется лед. Образование льда происходит в два этапа. Сначала в жидкой фазе образуются ассоциированные молекулы (4 молекулы  $H_2O$ ), которые затем диффундируют в область меньшего давления и образуют кристаллы. Полный переход воды в лед происходит при температуре  $-48\text{ }^{\circ}C$ . Количество твердой фазы (льда) можно характеризовать объемной льдистостью, т.е. отношением объемов льда и жидкости. Например, при быстром замораживании образцов до  $-10\text{ }^{\circ}C$  льдистость для пенобетона составила 83 %, а для силикатного кирпича – 77 %.

Процесс замерзания воды сопровождается переносом жидкости, так как в зоне замерзания происходит уменьшение ее количества и выделение теплоты кристаллизации. В результате этого возникают локальные градиенты концентрации влаги и температуры, что и приводит к переносу жидкости в область отрицательных температур. Незамерзшая вода существует в порах строительных материалов в широком спектре отрицательных температур. Кроме равновесного понижения точки замерзания связанной воды наблюдается также и ее переохлаждение. Понижение температуры замерзания поровой влаги объясняется искажением ее структуры под воздействием поверхности материала.

Основным параметром, определяющим количество незамерзшей воды в материале, является температура. Поэтому данные по незамерзшей воде обычно представляют в виде температурной зависимости, которую подразделяют на три области:

- область значительных (интенсивных) фазовых переходов, где при изменении температуры на 1 градус количество незамерзшей воды меняется  $\Delta W_{НВ}$  не менее чем на 1 %;

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

- переходная область, соответствующая изменениям  $\Delta W_{HB}$  в диапазоне  $0,1\% < \Delta W_{HB} < 1\%$ ;

- область практически замерзшего состояния,  $\Delta W_{HB} > 1\%$ . Количество воды в данной области оценивают толщиной в несколько молекулярных слоев. Эта часть воды, являющаяся прочносвязанной, оказывается нетермоактивной и не кристаллизуется.

Количество незамерзшей воды зависит также от начальной влажности материала, от количества циклов «замораживания – оттаивания», величины отрицательной температуры и времени выдержки образца, которые в данном случае проявляются совместно в идее параметров цикла. Влияние циклов на количество незамерзшей воды подтверждается экспериментальными наблюдениями. В результате воздействия циклов происходит:

- изменение структуры материала;
- небольшое, но вполне определенное повышение температуры начала замерзания, если каждое последующее замораживание совершается сразу после оттаивания.

Это явление связано с переходом влаги в состояние меньшей связанности. В интервале числа циклов 6 – 50 происходит некоторое увеличение количества незамерзшей воды, которое объясняется ростом объема микропор.

Для строительных материалов ограждающих конструкций (кирпич, бетон и др.) характерен монолитный скелет, поэтому появление льда в их порах может создавать значительное избыточное давление на незамерзшую воду и тем самым препятствовать ее дальнейшему замерзанию. Зависимость содержания незамерзшей воды от влажности материала может быть обусловлена также и избыточным давлением, оказываемым растущими кристаллами льда на незамерзшую воду.

Содержание незамерзшей воды в строительных материалах зависит от направления изменения температуры. Количество воды, полученной по циклу замерзания, оказывается больше, чем по циклу оттаивания. На практике этим различием обычно пренебрегают и процессы, как промерзания, так и оттаивания рассчитывают, используя одни и те же данные по количеству незамерзшей воды.

В области значительных фазовых превращений количество незамерзшей воды отвечает диапазону влажностей от максимальной молекулярной влагоемкости до значений прочносвязанной воды. В области практически замерзшего состояния количество незамерзшей воды близко к максимальной гигроскопической влажности, т.е. отвечает прочносвязанной воде.

По мере охлаждения в лед сначала превращается макрокапиллярная влага при температурах, близких к  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а затем постепенно, с понижением температуры до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  микрокапиллярная влага. В некоторых случаях следы незамерзшей микрокапиллярной влаги обнаруживаются вплоть до  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Основная масса адсорбированной влаги не превращается в лед при самом глубоком охлаждении (до  $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Универсального уравнения, одинаково хорошо описывающего количество незамерзшей воды во всем многообразии существующих материалов получить невозможно, поэтому используют эмпирические зависимости, обобщающие экспериментальные данные по незамерзшей воде для конкретных видов материалов.

В таблице 1 приведено количество незамерзшей воды для газобетона и керамзитобетона.

Таблица 1 – Количество незамерзшей воды  $\Delta W_{НВ}$  в строительных материалах, %

| Материал       | Плотность<br>$\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Температура, °С |     |     |     |     |     |     |
|----------------|---|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                |   | -2              | -5  | -10 | -15 | -20 | -30 | -40 |
| Газобетон      | 420                                     | 31              | 20  | 14  | 13  | 12  | 12  | 12  |
| Керамзитобетон | 1470                                    | 8,0             | 6,0 | 5,0 | 4,5 | 4,0 | 3,5 | 3,5 |

Из таблицы видно, что даже при низких температурах (-40 °С) строительные материалы содержат некоторое количество незамерзшей воды  $W_{НВ}$ , т.е. при низких температурах фазовые переходы воды в лед происходят до определенного для каждого материала температурного предела. Например, в газобетоне фазовые переходы поровой влаги происходят до температуры -20 °С, и в жидком состоянии остается 12 % влаги. При низких температурах вымерзает также капиллярно-связанная влага.

В таблице 2 приведено содержание незамерзшей воды и льда для сплошного глиняного кирпича при разном влагосодержании и температурах.

Таблица 2 – Количество незамерзшей воды  $W_{НВ}$  и льда в глиняном кирпиче ( $\rho = 1600$  кг/м<sup>3</sup>)

|          |     |     |     |     |     |     |     |      |      |     |     |      |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|------|
| $W$ , %  | 0,9 | 4,7 | 26  | 0,9 | 4,7 | 26  | 0,9 | 4,7  | 26   | 0,9 | 4,7 | 26   |
| $t$ , °С | -3  | -3  | -3  | -5  | -5  | -5  | -10 | -10  | -10  | -24 | -24 | -24  |
| $W_{НВ}$ | 0,9 | 4,7 | 2,6 | 0,9 | 2,6 | 5,0 | 0,9 | 2,35 | 4,4  | 0,9 | 2,2 | 3,9  |
| Лед, %   | нет | нет | нет | нет | 2,1 | 21  | нет | 2,35 | 21,6 | нет | 2,5 | 22,1 |

Для обеспечения удовлетворительного влажностного режима состояния необходимо, чтобы влага, накапливаемая в течение холодного периода года в ограждающих конструкциях, удалялась в теплый период, т.е. конструкции высыхали. Иначе повышенное содержание влаги может привести к следующим негативным последствиям:

- коррозии металлических закладных деталей;
- вымыванию извести (выщелачивание) растворов и бетонов;
- снижению теплотехнических качеств конструкций;
- образованию на стенах плесени, высолов;
- снижению срока службы ограждающих конструкций.

Диаграммы увлажнения наружных ограждающих конструкций, которые выявлены при обследовании пятиэтажных жилых домов, приведены на рисунке 1.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

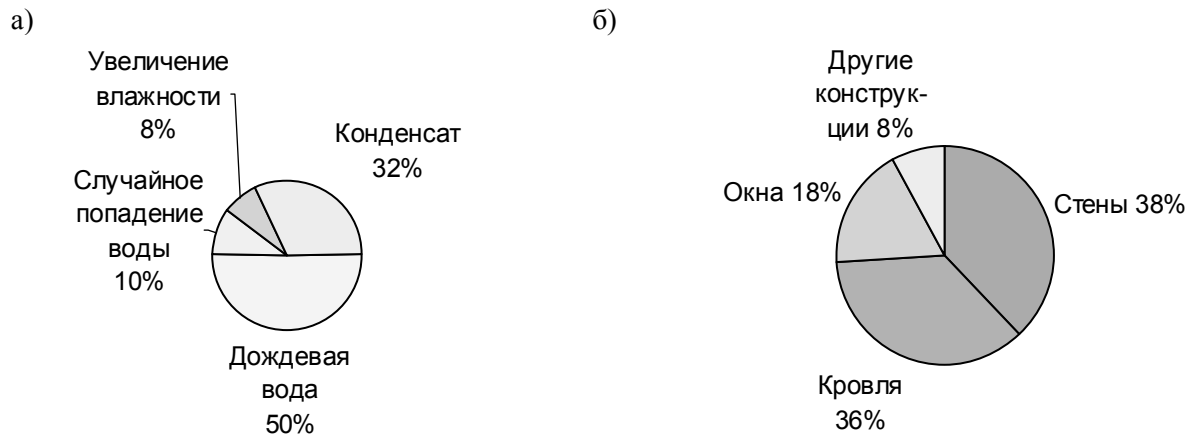


Рисунок 1 – Диаграммы распределения: а) вид увлажнения;  
б) дефекты, вызванные атмосферным увлажнением наружных ограждающих конструкций

Промерзание ограждающих конструкций происходит вследствие следующих причин:

- снижение теплотехнических качеств конструкций;
- нарушение герметичности стыков панелей;
- усадка бетона панельных швов;
- уплотнение и усадка утеплителя в стыках;
- наличие теплового мостика в ребристых панелях;
- нарушение гидроизоляции стен;
- некачественная кладка;
- недостаточная толщина конструкции в углах.

При повышенном влагосодержании и промерзании ограждающих конструкций зданий существенно снижаются теплозащитные и физико-механические свойства строительных материалов. Изменение температурно-влажностного режима эксплуатации конструкций, приводящее к изменению температурного поля конструкций, вызывает появление температурно-влажностных деформаций, а в результате и разрушение самой конструкции.

Образование льда в порах материала приводит к тому, что вокруг кристаллов льда появляются зоны трещин, развитие которых приводит к разрушению скелета материала. Существует ряд гипотез относительно причин такого разрушения:

- кристаллизационное давление льда;
- различие коэффициентов температурного расширения льда и скелета материала;
- увеличение удельного объема воды при переходе в лед.

В реальных условиях наружные ограждения подвергаются поверхностному увлажнению и промерзанию части конструкции. Обычно содержание влаги в стенах из силикатного кирпича не превышает 5 % по объему. При отрицательных температурах отмечено увеличение коэффициента теплопроводности в 1,15 раза. В таблице 3 приведена зависимость коэффициента теплопроводности от влажности для керамзитобетона и

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

пенобетона, а в таблице 4 – для силикатного кирпича.

Таблица 3 – Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности для строительных материалов

| Материал       | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | P,<br>% | Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/м·К при равном<br>влажностном содержании, $\omega$ , % |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|-------------------------------|---------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                |                               |         | 0   | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
| Пенобетон      | 500                           | 82      | 0,133   | 0,153 | 0,180 | 0,219 | 0,254 | 0,285 | 0,316 | 0,346 |
| Керамзитобетон | 1200                          | 47      | 0,313   | 0,327 | 0,343 | 0,380 | 0,413 | 0,445 | 0,478 | 0,510 |

Примечание: P – пористость, %

Таблица 4 – Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности для силикатного кирпича

|                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\omega$ , %       | 0     | 1,53  | 2,12  | 2,8   | 3,15  | 4,7   | 5,5   | 6,3   | 7,1   |
| $\lambda$ , Вт/м·К | 0,963 | 1,276 | 1,334 | 1,392 | 1,508 | 1,624 | 1,740 | 1,856 | 2,030 |

Характерной особенностью влажностных воздействий на ограждающие конструкции являются фазовые переходы влаги при отрицательных температурах, когда образующийся лед оказывает давление на скелет материала вследствие увеличения объема. Образующийся в материале лед прочно смерзается со скелетом, и система материал-лед деформируется совместно. При повышении температуры скелет оказывается в состоянии всестороннего напряжения, а лед – в состоянии всестороннего сжатия. В результате возникают микронапряжения. Если отношение объема разрушения материала к объему всего материала менее 25 %, то при увеличении микронапряжений происходит развитие зоны трещин без разрушения материала. Если отмеченный объем более 25 %, то при нарастании микронапряжений материал разрушается. До момента разрушения происходит как бы подготовительный период, в течение которого протекают процессы, определяющие в дальнейшем разрушение материала.

### Заключение

На основании изложенного выше следует, что превращение воды в лед происходит не при 0 °С, а при различных температурах в зависимости от формы связи влаги с капиллярно-пористыми телами. Чем больше энергия связи, тем при более низкой температуре замерзает вода. В жидком состоянии остается часть адсорбированно-связанной влаги. Поэтому существует целый спектр температур замерзания воды в капиллярно-пористых материалах. Большая часть воды (90 %) замерзает при температуре от 0 до –3,3 °С. При расчете долговечности ограждающих конструкций замерзание воды в различных строительных материалах рекомендуется принимать в диапазоне температур –1,6 ... –3,5 °С.

### Литература

1 Еремеев, Г.Г. К вопросу о причинах разрушения строительных материалов при замораживании оттаивании / Г.Г.Еремеев, Б.В.Важенин // Сб. тр. НИИСФ. – М., 1971. – Вып. 4 (18). – С. 16-19.

2 Ершов, Э.Д. Фазовый состав влаги в мерзлых породах / Э.Д.Ершов, Ю.П.Акимов, В.Г.Чеверев. – М.: МГУ, 1979. – 190 с.

3 Литвинова, Т.А. Фазовый состав воды строительных материалов при отрицательных температурах // Успехи строительной физики в СССР: Сб. тр. НИИСФ. – М., 1967. – Вып. 3. – С. 38-46.

4 Таганцева, Т.Ф. О теплопроводности капиллярно-пористых тел при отрицательных температурах / Т.Ф.Таганцева, Ю.Г.Буров // Строительные материалы, 1962. – № 1. – С. 4-9.

5 Тимошенко, А.Т. Теплоустойчивость многослойных ограждающих конструкций зданий / А.Т.Тимошенко, С.С.Ефимов, Г.Г.Попов. – Якутск, 1990. – 175 с.

## 1.17 ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ИЗ ЖАРОСТОЙКОГО БЕТОНА

**Федоренко Е.А., Грибанов В.Н.** (БГИТА, г. Брянск, РФ)

*Рассматриваются проблемы тепловой защиты оборудования, конструкций агрегатов; проводится анализ используемых материалов и технологии изготовления жаростойкого бетона в условиях повышенного спроса на эффективные виды теплоизоляционных материалов; рассматриваются возможные технологии изготовления жаростойких бетонов на различных компонентах.*

Интенсивное развитие химической, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности с высоким потреблением теплоэнергетических ресурсов, увеличение единичных мощностей отдельных производств требуют повышения параметров технологических процессов. Соответственно предъявляются более высокие требования к качеству тепловой изоляции и выполнению теплоизоляционных работ.

Жаростойкий бетон получил широкое распространение в различных отраслях промышленности при возведении тепловых агрегатов, при строительстве туннельных печей, газоходов, дымовых труб, котельных установок тепловых электростанций, печей кипящего слоя, используют для полов в сталеплавильных, прокатных, доменных и других горячих цехов. В отличие от штучных огнеупоров жаростойкий бетон применяется в конструкциях тепловых агрегатов без предварительного обжига, который осуществляется при первом нагреве конструкции в период пуска теплового агрегата.

Портландцемент в чистом виде не может быть использован в качестве вяжущего для жаростойкого бетона, так как в процессе твердения наряду с образующимися гидросиликатами и гидроалюминатами кальция происходит выделение гидроксида кальция, который в процессе нагревания дегидратирует с образованием оксида кальция, не стойкого при воздействии влаги.

Сущность получения жаростойкого бетона на основе портландцемента заключается в связывании гидроксида кальция вводимыми добавками,

образованием соединений, стойких к воздействию повышенных температур. Тонкомолотые добавки, полученные из огнеупорных материалов, стабилизируют цементный камень при его нагревании, обеспечивают протекание реакций в твердом состоянии между добавками и оксидом кальция с образованием безводных силикатов и алюминатов кальция, стойких в условиях высоких температур. Тонкомолотые минеральные добавки связывают свободный оксид кальция, устраняют вероятность его гашения, не образуют с минералами портландцемента легкоплавких веществ, уменьшают усадку гидратированного портландцемента, не вызывая большого снижения активности портландцемента. Применение тонкомолотых добавок позволяет получать вяжущие вещества с различными свойствами [1].

Изделия на основе жаростойких бетонов, работающих при повышенных температурах (свыше 1000 °С), должны отвечать требованиям ГОСТ 20910. Бетоны жаростойкие. Технические условия. Новые составы жаростойких бетонов могут эксплуатироваться в широком диапазоне температур от 200 до 1800 °С. Эти составы подразделяются по следующим основным признакам: предельно допустимой температуре применения, прочности при осевом сжатии, виду вяжущего и заполнителя, способу укладки и уплотнения бетонной смеси. При строительстве тепловых агрегатов из жаростойких бетонов наиболее широкое применение нашли бетоны на портландцементе и его разновидностях.

Выбор вида жаростойкого бетона обусловлен многими факторами. Разработку составов бетона проводят с учетом основных его свойств и анализа конкретных условий службы изделий: максимальных рабочих температур нагрева элементов, характера нагрева (односторонний нагрев или нагрев с двух сторон), наличия возможных механических воздействий (ударов, истирания), резких нагреваний и охлаждений, характера и степени агрессивной среды.

На кафедре производства строительных конструкций БГИТА постоянно проводятся разработки составов и технологий изготовления изоляционных изделий плотной и ячеистой структуры на основе неорганических вяжущих и вторичных продуктов промышленных предприятий.

Исследования авторов по разработке жаростойких бетонов плотной и ячеистой структуры нашли практическое применение для футеровки тепловых генераторов различных мощностей ООО «ТЕХНА». В теплогенераторах сжигались опилки в пиролизном состоянии и вырабатывался теплоноситель для сушки древесины. По условиям заказчика разработаны составы жаростойких бетонов на основе портландцемента и местных видах заполнителей. По рабочим чертежам изготовлены изделия (ограждения рабочей камеры) в виде плит или блоков с температурной стойкостью 1050...1100 °С.

Выбор вида жаростойкого бетона произведен с учетом условий работы теплового агрегата (предельно допустимой температуры, агрессивности среды, характера нагрева) и конструктивных особенностей агрегата.

Проектирование состава жаростойкого бетона производился с учетом условий работы теплового агрегата (рабочей температуры, агрессивности



**Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии**

среды, характера нагрева) и конструктивных особенностей агрегата и включал в себя:

- расчет и назначение состава для опытных замесов;
- приготовление опытных лабораторных замесов, формование образцов, их твердение в пропарочной камере, испытание контрольных образцов;
- обработку полученных результатов и корректировку состава бетона с учетом требуемых параметров свойств;
- проверку назначенных составов в производственных условиях и расчет дозировки материалов на один замес с учетом объема изделия.

В качестве сырьевых компонентов жаростойкого бетона применялись:

- вяжущее – портландцемент фирмы «Евроцемент» марок ПЦ500-Д0 и ПЦ500-Д20, отвечающий требованиям ГОСТ 10178.
- тонкомолотые добавки (наполнители) к портландцементу, обеспечивающие устойчивость вяжущего при температуре 1050...1100 °С. В приготовления тонкомолотых добавок и заполнителей использовали бой шамотных изделий, доменный гранулированный шлак.

Для получения тонкомолотых добавок кусковой шамот и доменный гранулированный шлак размалывали в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 250...260 м<sup>2</sup>/кг.

Заполнители получали путем дробления шамота и последующим разделением на две фракции: песок с размерами зерен 0,16...5 мм; щебень с размерами зерен 5...10 мм.

Доменный гранулированный шлак с крупностью зерен от 0 до 5 мм использовали без дополнительной переработки в качестве мелкого заполнителя.

Зерновой состав шамотного крупного и мелкого заполнителя представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Зерновой состав заполнителей

| Размер отверстий контрольных сит, мм | Полные остатки на контрольных ситах, % массы, для заполнителей крупностью |               |               |
|--------------------------------------|---|---------------|---------------|
|                                      | до 5 мм   | от 5 до 10 мм | от 5 до 20 мм |
| 20                                   | -   | -             | 0...5         |
| 10                                   | 0   | 0...5         | 30...60       |
| 5                                    | 0...5   | 90...100      | 90...100      |
| 2,5                                  | 10...40   | -             | -             |
| 1,25                                 | 20...60   | -             | -             |
| 0,63                                 | 40...85   | -             | -             |
| 0,315                                | 60...95   | -             | -             |
| 0,16                                 | 80...100  | -             | -             |

На основании лабораторных составов жаростойкого бетона с использованием портландцемента, шамотной добавки к вяжущему и шамотных фракционированных заполнителей были изготовлены изделия футеровки теплогенераторов для сжигания топлива (опилок) в виде плит и блоков. Изготовленные изделия испытывались непосредственно в тепловом генераторе по методике «сушка и первый разогрев» по заданному режиму.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Режимы сушки и первого разогрева представлены в таблице 2.

В серийное производство изделий были приняты составы на основе портландцемента и шамотного заполнителя.

Таблица 2 – Режимы сушки и первого разогрева жаростойких изделий в тепловых агрегатах

| Время нагрева, ч,<br>в интервале температур        |                  |                  |  | Наименьшая продолжительность<br>изотермической выдержки, ч, при<br>температуре, °С |     |     |     |
|--|------------------|------------------|--|--|-----|-----|-----|
| от температуры<br>окружающего воздуха<br>до 200 °С | от 200 до 400 °С | от 400 до 600 °С | от 600 °С до рабочей<br>температуры (1000°С) | 200  | 300 | 400 | 600 |
| 10   | 10               | 10               | 10   | 12   | 12  | 12  | 12  |
| Скорость подъема температуры 20 °С/ч               |                  |                  |  |  |     |     |     |

Технические характеристики изделий для теплового генератора на шамотном заполнителе:

- класс бетона по предельно допускаемой температуре U 12;
- средняя плотность бетона после сушки при 110 °С – 1850 кг/м<sup>3</sup>;
- наибольший класс бетона по прочности на сжатие B 35;
- температура деформации под нагрузкой, не менее 1180 °С;
- температура разрушения более 1250 °С;
- рекомендуемая область применения – для футеровок тепловых агрегатов с нейтральной средой.

### Заключение

Возрастающая потребность и применение жаростойких бетонов подтверждает, что область их использования будет расширяться. В случае создания новых видов бетонов с использованием отходов промышленности и дешевых местных сырьевых ресурсов, жаростойкие бетоны на основе цементов становятся предпочтительными и экономически выгодными по сравнению с высокообжиговыми материалами.

### Литература

- 1 Технология изготовления жаростойких бетонов /Справочное пособие к СНиП 3.03.01-87.- М.: Стройиздат, 1991.- 64 с.

## 1.18 ИССЛЕДОВАНИЕ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Чудакова О.А., Фокин Д.Е. (БГИТА, г.Брянск, РФ)

*В работе приведены результаты исследований по использованию гипсосодержащего отхода для сухих строительных смесей на основе гипсового вяжущего.*

В связи с реализацией приоритетного национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» особую актуальность приобретают задачи увеличения производства эффективных стеновых материалов.

В этом аспекте являются перспективными строительные материалы и изделия, изготавливаемые на основе гипсовых вяжущих. Это обусловлено эффективностью переработки повсеместно распространенного гипсового сырья и гипсосодержащих отходов в гипсовые вяжущие, получением из них водостойких гипсовых вяжущих, а также высокими техническими и эколого-экономическими показателями свойств материалов и изделий из них.

Целью работы является исследование возможности использования гипсосодержащего отхода для сухих строительных смесей на основе гипсового вяжущего.

Для проведения исследований применялось гипсовое вяжущее марки Г-4 (Украина). Данный вид вяжущего имеет следующие характеристики:

- остаток на сите (сито 0,2 мм) 8 %;
- сроки схватывания: начало схватывания не ранее 2,5 минут; конец схватывания не позднее 7 минут;
- предел прочности при изгибе через 2 часа- 20 кгс/см<sup>2</sup>;
- предел прочности при сжатии через 2 часа- 35 кгс/см<sup>2</sup>;
- цвет белый.

Также применялось гипсовое вяжущее марки Г-5 (Беларусь).

Характеристики гипсового вяжущего марки Г-5:

- остаток на сите 0,2 мм, не более 14%;
- сроки схватывания: начало, не ранее 9 минут; конец, не позднее 12 минут;
- предел прочности при изгибе через 2 часа- 30 кгс/см<sup>2</sup>;
- предел прочности при сжатии через 2 часа- 50 кгс/см<sup>2</sup>;
- водопоглощение не менее 23%.

Характеристики исследуемых вяжущих соответствуют ГОСТ 125 «Вяжущие гипсовые. Технические условия».

В качестве добавки использовался гипсосодержащий отход (ГСО), который является побочным продуктом фарфорофаянсового производства и содержит в своем составе  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и ангидрид  $\text{CaSO}_4$ .

Добавка ГСО вводилась в состав сухих строительных смесей на основе гипсовых вяжущих в количестве 10...60 % от массы гипса.

**Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии**

Исследования показали, что использование гипсосодержащего техногенного отхода в составе сухих смесей на основе гипса приводит к изменению средней плотности, прочности и водостойкости.

Как видно из рисунка 1 с увеличением содержания ГСО до 60 % средняя плотность гипсового камня увеличивается по сравнению с контрольным составом.

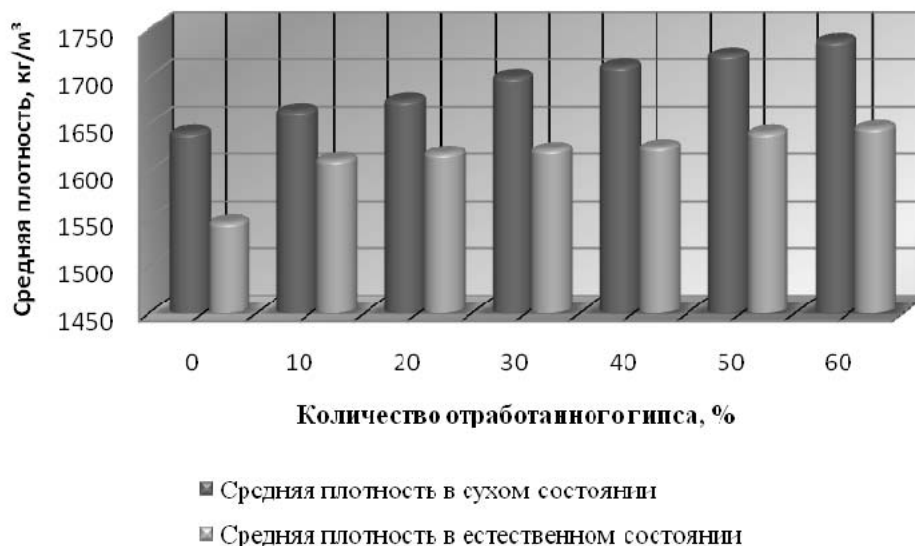


Рисунок 1 – Средняя плотность гипсового камня марки Г-4

При введении ГСО в количестве от 10 до 20% средняя плотность увеличивается от 1,4 до 2,7%, а при 40%- на 4,3-5,9 %.

При добавлении ГСО в количестве до 40% прочность растворной смеси снижается от 3,29 до 2,25 МПа, а при введении отхода до 60 % предел прочности при сжатии уменьшается до 1,6 МПа ( таблицы 1).

При введении ГСО в количестве 10% коэффициент водостойкости уменьшается на 14,3 %; при введении 20 % - на 28,5 %; 30 % - на 42,9 %; 40% - на 50 %; 60 % - на 71,4 % (рисунок 2).

Таблица 1- Предел прочности при сжатии гипсового камня марки Г-4

| № п/п | Содержание ГСО     | Предел прочности при сжатии, МПа | Марка гипса |
|-------|--------------------|----------------------------------|-------------|
|       | Контрольный состав | 4,6                              | Г-4         |
| 1     | Добавка 10%        | 3,29                             | Г-3         |
| 2     | Добавка 20%        | 3,0                              | Г-3         |
| 3     | Добавка 30%        | 2,78                             | Г-2         |
| 4     | Добавка 40%        | 2,25                             | Г-2         |
| 5     | Добавка 50%        | 1,97                             | -           |
| 6     | Добавка 60%        | 1,6                              | -           |

Рентгенофазовый анализ установил (рисунок 3), что введение в сухие строительные смеси ГСО приводит к изменениям в структуре материала.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

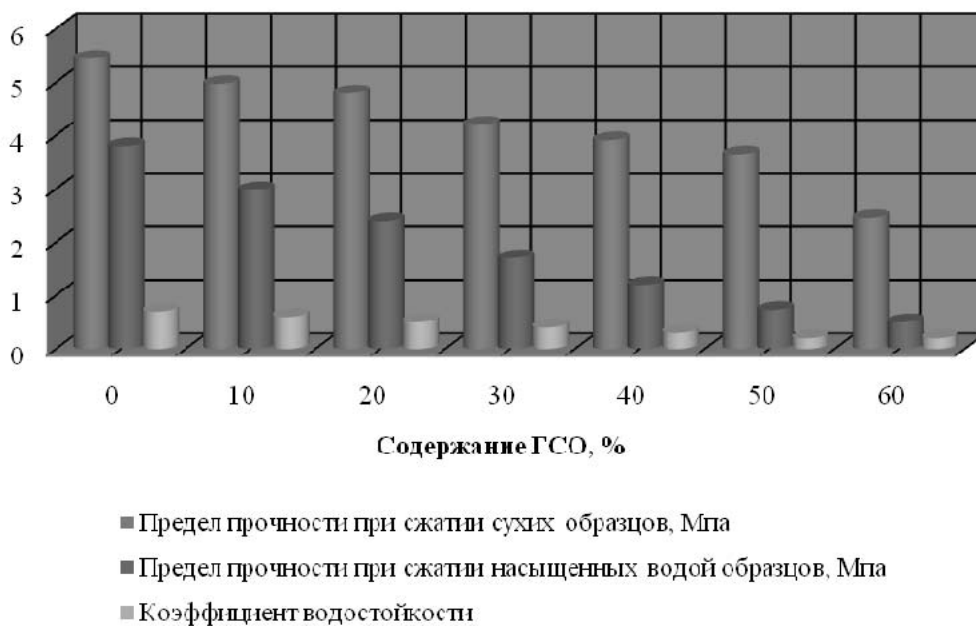


Рисунок 2 – Коэффициент водостойкости гипсового камня марки Г-5 с добавкой ГСО

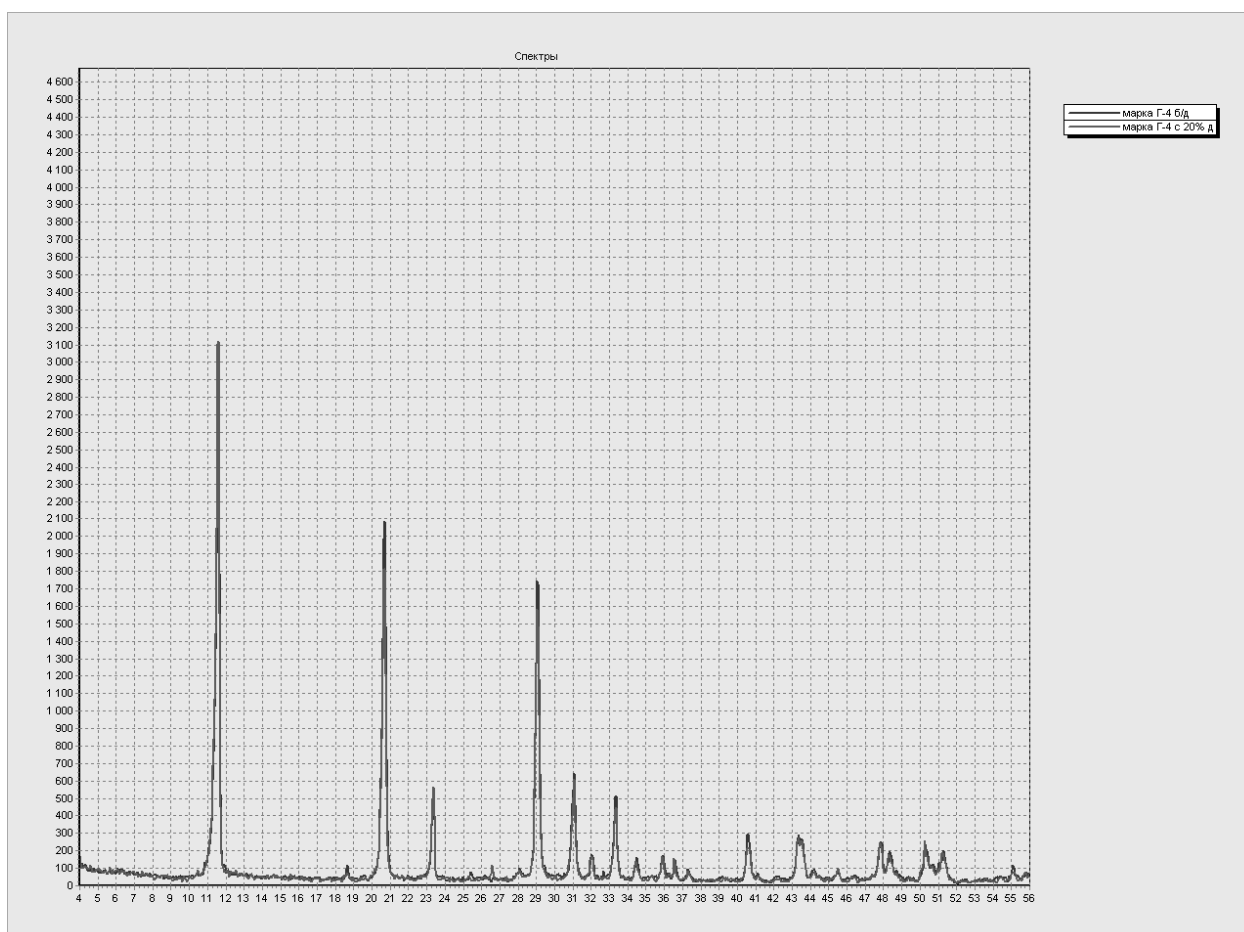


Рисунок 3- Рентгенофазовый анализ сухих строительных смесей марки Г-4

При введении 20 % гипсосодержащего техногенного отхода в состав сухих строительных смесей происходит снижение интенсивности межплоскостных расстояний, характерных для  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CaSO}_4$ , и исчезновение полос поглощения, характерных для  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (десятиводный однокальциевый гидроалюминат),  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  (однакальциевый алюминат),  $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ . Одновременно увеличивается полоса поглощения, характерная для  $3\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , вносимой добавкой.

### Заключение

1. Введение в состав сухих строительных смесей гипсосодержащего отхода приводит к снижению предела прочности при сжатии и изгибе.
2. При содержании ГСО от 10 до 60 % при использовании гипса Республики Беларусь предел прочности при сжатии гипсового камня уменьшается от Г-5 до Г-2.
3. Введение в состав гипсового вяжущего марки Г-4 (Украина) ГСО от 10 до 40 % приводит к снижению предела прочности при сжатии от Г-4 до Г-2.
4. Водостойкость сухих строительных смесей при введении ГСО уменьшается.
5. Для использования гипсосодержащих отходов в составе сухих строительных смесей их содержание не должно превышать 20 %.

### Литература

- 1 Волженский, А.В., Стамбулко, В.И., Ферронская, А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. М.- 1997.- 318 с.
- 2 Гонтарь, Ю.В., Чалова, А.И. Особенности применения гипсовых вяжущих в сухих строительных смесях// Сб. докладов 4-ой МНТК «Современные технологии сухих смесей в строительстве». С.-Петербург.- 2002. 17-23с.
- 3 Зозуля, П.В. Определение водоудерживающей способности строительных растворных смесей [Текст]/ П.В.Зозуля// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.- 2007.-№5.- 46-47с.
- 4 Коровяков, В.Ф. Перспективы производства и применения в строительстве водостойких гипсовых вяжущих и изделий [Текст]/ В.Ф.Коровяков// Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.- 2008.-№3.- 65-67с.
- 5 Пат. 2268864 России, МПК С04В28/14 Способ переработки гипсосодержащего отхода для использования в промышленности строительных материалов/ В. Ким, В.М.Семисчастнов, Е.В.Жуков; - заявлено 13.04.2005, опубл. 27.01.2006.- 4с.
- 6 Ферронская, А.В. Гипсовые материалы и изделия ( производство и применение). Справочник. Под общей ред. А.В.Ферронской. – М.: Издательство АСВ.- 488 с.

## 1.19 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ БРЯНСКОЙ ГРЭС В ПРОИЗВОДСТВЕ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ястребова И.А. (БГИТА, г.Брянск, РФ)

*В статье представлены методы исследования золошлаковых отходов, определена наиболее эффективная область их использования в качестве кислотного компонента в производстве силикатных материалов плотной и ячеистой структуры*

В настоящее время тепловой энергетике принадлежит определяющая роль в производстве электроэнергии как в нашей стране, так и во всем мире. В структуре производства электроэнергии ТЭС составляют 64,5%, АЭС – 16,9%, ГЭС – 18,4%. В России выработка электроэнергии в 2007 году составила 812 млрд кВтч, в том числе ТЭС выработали 550 млрд кВтч. Преобладающие позиции тепловой энергетике сохранятся, очевидно, и в обозримой перспективе. Поэтому будущее энергетике будет существенно зависеть от обеспечения допустимого уровня воздействия тепловых электростанций на окружающую среду

С экологической точки зрения тепловые электростанции представляют собой непрерывно действующие уже в течение десятков лет источники выбросов в атмосферу продуктов сгорания топлива, сбросов в водоемы большого количества низкопотенциального тепла, накопления золошлаковых отходов. Ежегодный выход золы и шлака от 141 ТЭС, работающих на твердом топливе, составляет около 40 млн т. В золоотвалах накоплено свыше 1,3 млрд т золошлаковых отходов (ЗШО), а общая площадь отвалов достигла 22 тыс. га [3].

Таким образом, накопленные к настоящему времени запасы техногенного сырья огромны и они ежегодно пополняются. Степень использования этого сырья, в частности, в интересах строительной индустрии остается по разным причинам пока низкой. В то же время для удовлетворения потребностей промышленности строительных материалов и изделий в районы, где имеется техногенное сырье, нередко завозится с больших расстояний специально добываемое нерудное сырье, либо в непосредственной близости разведываются его месторождения, создаются и эксплуатируются карьеры по его добыче. Указанное положение, разумеется, не отвечает современным критериям природопользования и интересам страны.

Оценка основных видов техногенных продуктов с точки зрения возможности получения из них различной номенклатуры строительных материалов и изделий позволяет утверждать, что главным их потребителем может стать именно промышленность строительных материалов, а именно производство силикатных материалов. Технология силикатных автоклавных материалов характеризуется рядом особенностей, предопределяющих ее высокую экономичность. Главными из них являются: возможность использования недефицитного местного сырья, отсутствие в материале крупного заполнителя, пониженная капиталоемкость

производства, относительная простота и универсальность технологии, позволяющей изготавливать из одних и тех же исходных компонентов на одном и том же оборудовании материалы с различными свойствами и изделия различного назначения.

Изначально считалось, что компонентами силикатных автоклавных материалов могут быть в основном известь и песок, который должен удовлетворять требованиям высокого содержания в нем кварца и отличаться минимальным присутствием примесей. Развитие кристаллохимии, термодинамики, геохимии гидротермальных процессов доказали, что многие попутные и побочные промышленные продукты, содержащие разнообразные основные и кислотные оксиды, можно применять в качестве исходного сырья для силикатных материалов. Принцип гидротермального синтеза, лежащий в основе технологического процесса, определяет самые широкие возможности для наиболее полного и комплексного использования многих видов промышленных отходов. Именно указанные выше обстоятельства и заставляют обратиться к технологии гидротермального синтеза, как одному из главных направлений решения задач утилизации и переработки золошлаковых отходов ТЭС [4,5]

Обращают на себя внимание и особо благоприятные условия на территории Брянской области для создания эффективной работы отрасли силикатных автоклавных материалов - наличие значительного количества карбонатокальциевых пород, позволяющих получать дешевую известь, а также наличие практически пригодных к употреблению золошлаковых отходов, содержащих более 60 % диоксида кремния.

В данной статье решается задача исследования золошлаковых отходов Брянской ГРЭС с целью получения силикатных материалов гидротермального твердения. Основной деятельностью предприятия является производство тепла и электроэнергии, главным сырьевым компонентом для получения готовой продукции является топливо - природный газ и уголь. В настоящее время в качестве топлива используется исключительно природный газ. Однако на сегодняшний день уголь является резервным видом топлива, а до 2004 г. предприятие работало только на угле Подмосквовного месторождения, при сжигании которого образовалось огромное количество загрязняющих окружающую природную среду веществ, в том числе более 3 млн.т золошлаковых отходов. Золошлаковые хранилища занимают в настоящее время 70 га плодородных земель и являются не востребуемым сырьем. Исходя из этого, актуальным представляется решение вопроса оценки химико-минералогического состава и физико-механических свойств золошлаковых отходов для использования в производстве силикатных автоклавных материалов.

Оценка физических свойств золошлаковых отходов Брянской ГРЭС как кислотного компонента силикатных автоклавных материалов проводилась, исходя из анализа той роли, которую выполняет этот компонент в формировании структуры автоклавных бетонов. При этом учитывалось, что кислотный компонент выступает в двойной роли. С одной стороны, при взаимодействии с гидроксидом кальция он в гидротермальных условиях является основой синтеза цементирующих веществ, а с другой, своим остаточным объемом образует,



Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

совместно с возникающими цементирующими веществами, структуру силикатного микробетона. Способность кислотного компонента к взаимодействию с гидроксидом кальция в значительной степени определяется химическим, минералогическим, дисперсным его составом и состоянием поверхности.

Образование цементирующих веществ протекает в гетерогенной системе «щелочной компонент - кислотный компонент - вода», а в нашем случае «гидроксид кальция – золошлаковый отход — вода». Изменение концентрации катионов  $Ca^{2+}$  и, следовательно, характер зародышеобразования и кристаллизации новой фазы в гидротермальных условиях, определяется величиной площади поверхности раздела фаз, удельной активностью поверхности исходных составляющих и, прежде всего, кислотного компонента. Отсюда очевидно, что важнейшей характеристикой этого компонента является величина его удельной площади поверхности, связанная с гранулометрическим составом.

Для получения наибольшей прочности силикатного бетона целесообразно при формировании его структуры добиваться наибольшей плотности упаковки частиц, получая рациональный тип цементации материала. А это означает, что объем межзерновых пустот кислотного компонента, зависящий от его гранулометрического состава, должен быть заполнен цементирующим веществом с определенной раздвижкой зерен. Соответственно объему межзерновой пустотности должно приниматься определенное соотношение щелочного (извести) и кислотного (золошлаковый отход) компонента. Из этого следует, что при оценке свойств кислотного компонента необходимо характеризовать также его плотность или пустотность, зависящих от гранулометрии частиц.

Таким образом, для определения возможностей и условий применения золошлаковых отходов Брянской ГРЭС были изучены минералогический и химический составы, гранулометрия и удельная площадь поверхности частиц, плотности упаковки зерен.

Следует также отметить, что в технологии получения строительных материалов определяющее значение имеет однородность и стабильность состава и свойств сырья, в связи с чем необходимой оказывается статистическая оценка однородности золошлаковых отходов.

Отбор проб проводился непосредственно около пульпопровода и из хранилища на расстоянии 20, 40 и 60 м от выброса пульпы из трубопровода..

Химический состав золошлаковых отходов, образовавшихся при сжигании углей Подмосквовного месторождения представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав золошлаковых отходов

| Наименование       | Содержание компонентов, % |                                |                                |     |         |                  |                   |                 |         |
|--------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|---------|------------------|-------------------|-----------------|---------|
|                    | SiO <sub>2</sub>          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | MgO     | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | п.п.п.  |
| Золошлаковый отход | 61-64                     | 12-19                          | 5-13                           | 2-5 | 0,2-2,0 | 0,2-1            | 0,1-0,7           | 0,2-1,6         | 0,2-1,3 |

Анализ таблицы 1 показывает, что золоотходы представляют собой смесь, состоящую из кремнезема и глинозема и незначительного количества оксидов

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

железа и кальция. Кремнезем представлен в отходах в виде кварца, массовая доля которого в твердой фазе находится в пределах 61-64 %.

Выполненные исследования гранулометрического состава и оценка удельной площади поверхности отходов позволяют достаточно полно оценить эти показатели для проб, взятых вблизи пульпопровода и в (таблица 2).

Таблица 2 - Распределение золошлаковых отходов по фракциям по длине «пляжа» хранилища

| Место отбора проб<br>золошлакоотходов | Массовая доля (%) частиц размером |         |        |              |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---------|--------|--------------|
|                                       | 0,4 мм                            | 0,20 мм | 0,1 мм | менее 0,1 мм |
| У выпуска из пульпопровода            | 34,0                              | 31,5    | 25,5   | 9,0          |
| На расстоянии 20 м от выпуска         | 19,0                              | 26,5    | 30,0   | 24,5         |
| На расстоянии 40 м от выпуска         | 18,0                              | 20,0    | 33,0   | 29,0         |
| На расстоянии 60 м от выпуска         | 14,0                              | 18,5    | 40,0   | 27,5         |

Анализ данных таблицы 2 показывает, что гранулометрический состав отходов вблизи выпуска пульпы характеризуется присутствием преимущественно частиц размером более 0,20 мм. Их массовая доля составляет 71 %. Мелкие частицы относятся на большие расстояния. Доля мелких частиц (0,1 и менее 0,1 мм) на расстоянии 60 м составляет 67 %.

Такой гранулометрический состав золошлаковых отходов можно объяснить тем, что в ходе заполнения хранилища отходами место выпуска пульпы возможно менялось и в результате этого слои с различными характеристиками грансостава и дисперсности перемещались случайным образом. В итоге изменчивость массовой доли частиц различного размера по «пляжу» колеблется 19-66 %. Наибольший коэффициент вариации характерен для более крупных частиц (0,20-0,4 мм). Это свидетельствует о том, что при использовании золошлаковых отходов Брянской ГРЭС из хранилища возможно потребуются их дополнительная классификация и усреднение.

Наибольшая удельная площадь поверхности золошлаковых отходов составляет 200-220 м<sup>2</sup>/кг (по ПСХ) и находится на расстоянии 60 м и более от пульпопровода. Отметим, что эта величина близка к значениям тонкости помола, принимаемым для кварцевого песка в известково-песчаном вяжущем, используемом в производстве силикатных автоклавных бетонов. Удельная площадь поверхности золошлаковых отходов вблизи пульпопровода и на расстоянии 20 м и 40 м соответственно равна: 60-70; 100-110, 160-170 м<sup>2</sup>/кг. Также исследовались пробы отходов по глубине залегания. Пробы отбирались с поверхности золохранилища и на глубине 25 см и 50 см. Исследования показали, что по глубине залегания изменчивость удельной поверхности золошлаковых отходов не наблюдается.

Изучение плотности упаковки частиц проводилось для отходов Брянской ГРЭС с удельной поверхностью 60-70, 160-170, 200-220 м<sup>2</sup>/кг (по ПСХ). Эти величины дисперсности приняты для исследования в связи с тем, что они охватывают весь диапазон удельных площадей поверхностей частиц. То есть отходы с дисперсностью 60 - 70 м<sup>2</sup>/кг могут быть отобраны непосредственно

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

вблизи пульпопровода, 160-170 м<sup>2</sup>/кг и 200-220 м<sup>2</sup>/кг -из хранилища на соответствующих расстояниях. Кроме этого указанный диапазон удельных площадей поверхности удовлетворяет рекомендуемым (по условиям однородности) дисперсностям частиц кислотного компонента для получения силикатных автоклавных бетонов различной степени плотности. Плотность упаковки частиц золошлаковых отходов определялась расчетным путем и оценивалась по величине пустотности сухого материала в насыпном состоянии и с уплотнением при помощи вибрации на стандартной виброплощадке.

В результате определена плотность упаковки частиц отходов (таблица 3) и установлено, что увеличение дисперсности с 60-70 м<sup>2</sup>/кг до 160-170 м<sup>2</sup>/кг приводит к росту пустотности сухого материала в насыпном состоянии с 51,5 % до 58,5 %, а при дисперсности 200-220 м<sup>2</sup>/кг пустотность составляет уже 63,5 %, то есть на 12 % больше, чем у материала с удельной площадью поверхности частиц 60-70 м<sup>2</sup>/кг. После виброуплотнения сухого материала его пустотность уменьшалась на 20-23 %, но остается высокой у тонкодисперсного материала.

Полученные данные о пустотности могут быть использованы для определения рационального соотношения кислотного компонента и извести в составе силикатных смесей.

Таблица 3 - Пустотность золошлаковых отходов при различной дисперсности

| Наименование показателя                                   | Показатели пустотности (%) при удельной поверхности, м <sup>2</sup> /кг |         |         |
|---|---|---------|---------|
|   | 60-70   | 160-170 | 200-220 |
| Пустотность сухого материала в насыпном состоянии         | 51,5  | 58,5    | 63,5    |
| Пустотность сухого материала в виброуплотненном состоянии | 41,5  | 44,8    | 50,0    |

### Заключение

1. ЗШО представляют собой смесь, состоящую, в основном, из кремнезема и глинозема и незначительного количества оксидов железа и кальция. Кремнезем представлен в отходах в виде кварца, массовая доля которого в твердой фазе находится в пределах 61-64 %.

2. Плотность в насыпном состоянии составляет 812-935 кг/м<sup>3</sup> с изменчивостью близкой к 13 %.

3. На большей территории хранилища в составе отходов частицы менее 0,1 мм составляют более 60 % и характеризуются удельной площадью поверхности в пределах 200-220 м<sup>2</sup>/кг, изменчивость массовой доли этих частиц около 10 %.

4. Изменчивость массовой доли частиц различного размера по «пляжу» колеблется 19-66 %. Наибольший коэффициент вариации характерен для более крупных частиц (0,20-0,4 мм) и колеблется в пределах 35-42 %. Это свидетельствует о том, что при использовании золошлаковых отходов Брянской ГРЭС из хранилища возможно потребуется их дополнительная классификация и усреднение.

Секция 1. Актуальные проблемы строительного комплекса:  
строительные материалы и технологии

Таким образом, показатели изменчивости состава и свойств золошлаковых отходов лежат в пределах, близких к изменчивости показателей свойств сырьевых материалов, применяемых на практике в технологии автоклавных материалов.

Согласно представленному комплексу показателей, золошлаковые отходы Брянской ГРЭС целесообразно рассматривать в качестве кислотного компонента для получения силикатных материалов плотной и ячеистой структуры.

Литература

1. Князева, В.П. Экологический подход к оценке строительных материалов из отходов промышленности / В.П.Князева, В.Г.Микульский, Н.А.Сканави // Строит. материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2000. - № 6. - С. 16-17.
2. Малооков, Е.А. Зола ТЭС - эффективная гидравлическая добавка / Е.А.Малооков, А.В.Щербинин, М.Б.Петровский // Цемент и его применение. - 2000. - N 1.- С. 33-35
3. Осипов А.Л. Оценка экологичности теплоэнергетики //Тепловые и атомные электрические станции. Материалы 2-й междунар. научн.-практ. конф. - Воронеж, 2008.- С. 12-19.
4. Чернышов, Е.М. Концепция, методология и инженерные решения комплексной и глубокой переработки техногенных продуктов в строительные материалы// Высокие технологии в экологии: Тр. 2-й Междунар. науч.-техн.конф.- Воронеж, 1999,- С.352-359.
5. Чернышов, Е.М..Организация комплексных диагностических исследований техногенных продуктов в задачах утилизации их в технологии строительных материалов//Высокие технологии в экологии: Тр. 4-ой междунар. научн.-практ. конф. - Воронеж, 2001.- С. 142-149.
6. Федин А.А. Научно-технические основы производства и применения силикатного ячеистого бетона.- М.: Изд-во ГАСИС, 2002.- 264 с.