

*Geoff A. Tompsett // Solid State Ionics. – 2000. – Vol. 129. – P. 63 – 94. 7. Ramløv J. Comment on “The characterization of doped CeO<sub>2</sub> electrodes in solid oxide fuel cells” by B.G. Pound / J. Ramløv, F.W. Poulsen, M. Mogensen // Solid State Ionics. – 1993. – Vol. 61. – P. 277 – 279. 8. Андреевская Е.Р. Фазовые соотношения в системе CeO<sub>2</sub> – Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при температуре 1500 °C / [Е.Р. Андреевская, О. А. Корниенко, В.С. Города и др.] // Современные проблемы физического материаловедения. – 2008. – С. 25 – 28.*

*Поступила в редколлегию 24.06.11*

УДК 504.064.4:691.32

**Л.С. САВИН**, докт. техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГАСА», Днепропетровск,  
**В.Н. МАКАРОВА**, аспирант, ГВУЗ «ПГАСА», Днепропетровск

## **КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА**

В статті пропонується комплексне використання відходів металургійної та гірничодобувної промисловості в виробництві бетону. Аніліз даних отриманих в результаті лабораторного експерименту дозволяє зробити висновок про таку характеристику як міцність в'язучого і внаслідок міцність бетону.

В статье предлагается комплексное использование отходов металлургической и горнодобывающей промышленности в производстве бетона. Анализ данных полученных в результате лабораторного эксперимента позволяет сделать вывод о прочностных характеристиках вяжущего и в последствии прочность бетона.

The article proposes complex use of metallurgical and mining industry waste in the production of concrete. The analysis of data obtained from laboratory experiments allows to make a conclusion on the binder and concrete strength.

В условиях значительного роста стоимости энергетических ресурсов значение приобретает производство строительных материалов, технология изготовления которых отличается пониженной энергоемкостью, а также применение высокоэффективных теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях.

Главная причина сложившейся ситуации – возникшая необходимость всемерной экономии энергии [1].

Несмотря на высокую технико-экономическую эффективность, объем отходов, применяемых при изготовлении ячеистых бетонов в настоящее вре-

мя значительно ниже возможного. Это связано с целым рядом организационных и технологических трудностей. Основные технологические трудности широкого применения в производстве ячеистых бетонов различных отходов промышленности обусловлены непостоянством их химико-минералогического состава и отсутствием надежных рекомендаций по оперативной корректировке состава сырьевой смеси в зависимости от характеристик поступающего сырья. Коэффициент основности позволяет оценить химическую активность сырья, рассчитать основность силикатов.

На основе значений коэффициента основности П.И. Боженков предлагает следующую классификацию побочных продуктов:

- 1)  $K_{осн}$  менее 0 – ультракислые;
- 2)  $K_{осн}$  от 0 до 0,8 – кислые (вяжущими свойствами не обладают, пригодны в качестве заполнителей и кислого компонента сырьевой смеси);
- 3)  $K_{осн}$  от 0,8 до 1,2 – нейтральные (вяжущие свойства выражены слабо);
- 4)  $K_{осн}$  от 1,2 до 3,0 – основные (обладают вяжущими свойствами);
- 5)  $K_{осн}$  более 3,0 – ультраосновные (известь и ее аналоги).

Одним из первых разработкой направления по применению шлакощелочного вяжущего в технологии ячеистых бетонов занимались ученые Киевского инженерно-строительного института под руководством В.Д. Глуховского.

Ячеистый бетон на шлакощелочном вяжущем характеризуется высокой атмосферостойкостью и стойкостью к агрессивным средам, что позволяет расширить область его применения. Как отметил автор, в качестве щелочного компонента могут применяться различные промышленные отходы с содержанием  $R_2O$  не менее 75 %.

По аналогичной технологии на основе отходов производства и применения тарного, технологического и оконного стекла в Московском инженерно-строительном институте получены ячеистые бетоны повышенной коррозионной стойкости [2].

Нами предлагается комплексное вяжущее на основе отходов металлургической и горнодобывающей промышленности. За счет применения комплекса отходов предполагается получить теплоизоляционный материал, обладающий улучшенными свойствами.

Активность вяжущего ( $R$ ) является важнейшей характеристикой, определяющей прочность бетонов ( $R_b$ ). В течение длительного времени исходили

из казавшейся самоочевидной предпосылки о том, что ( $R_6$ ) изменяется прямо пропорционально ( $R$ ). Эта предполагаемая закономерность находила свое отражение во многих зависимостях для расчета прочности бетона, в частности, в известных формулах Абрамса, Беляева, Болomeя, Скрамтаева, Баженова.

Широкие исследования, выполненные Л.А. Кайсером и Л.И. Левиным (ВНИИЖелезобетон) при разработке СН 386-74, а потом и СНиП 5.01.23-83, показали, что прочность бетона изменяется не прямопропорционально активности цемента, а лишь пропорционально этой величине, что выразилось формулой:

$$R_6 = 10 \cdot (\alpha \cdot \sqrt{R} \cdot \frac{C}{B} - 10 \cdot \beta), \quad (1)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – опытные коэффициенты, характеризующие влияние качества используемых материалов.

В дальнейшем эта зависимость несколько трансформировалась, но сущность ее не менялась, а точность повышалась незначительно. В связи с этим возникло предположение, что физический смысл понятия «активность цемента» современными методами раскрывается и определяется не полностью, так как практически не учитывается прочность на растяжение при изгибе ( $r$ ), которая в настоящее время является чисто факультативной. В современных стандартах нормируется лишь её минимально допустимая величина. Однако с этим трудно согласиться, так как испытания образцов-балочек на изгиб более близки к реальному напряжённому состоянию бетона в конструкциях. Взаимосвязь прочности цементов при изгибе и сжатии, характеризующая дефектность структуры, что может количественно влиять на свойства бетона.

В соответствии с представлениями, развиваемыми в работе [3], разрушение бетона происходит в результате сдвига по плоскостям скольжения в направлении действия наибольших касательных напряжений под углом:

$$45^\circ - \frac{\varphi}{2}, \quad (2)$$

где  $\varphi = f(R, r)$ .

Отсюда видно, что на прочность бетона при сжатии существенное влияние должна оказывать его прочность на срез.

Модель Прандля-Кулона устанавливает зависимость между касательным напряжением (т. е. прочностью на срез) и прочностью материала на сжатие ( $R$ ) и растяжение ( $r$ ) с помощью известной формулы Кепке и Мерша:

$$0,5\sqrt{R \cdot r}, \quad (3)$$

где  $\sqrt{R \cdot r}$  – среднегеометрическая величина этих значений.

Все это дает основание искать более обобщающую характеристику цемента, которая бы непосредственно учитывала не только его прочность на сжатие, но и растяжение при изгибе. Ее целесообразно назвать приведенной активностью цемента ( $R_{пр}$ ). Для проверки изложенной гипотезы и обоснования подсчёта  $R_{пр}$  были вычислены значения  $R \cdot r$ , а также различных сочетаний  $r$  и  $R$  в соответствии с их полученными значениями для стандартной марки цемента и цемента с добавками (таблица).

Таблица

Прочностные показатели и их сочетания для цементов различных марок (в кгс/см<sup>2</sup>)

Цемент	$\frac{R+r}{2}$	$\sqrt{R \cdot r}$	$\frac{R}{r}$	$\frac{\sqrt{R \cdot r} + R}{r}$	$\frac{R+r}{2} + \sqrt{R \cdot r}$	$\frac{R+r}{2} + \sqrt{R \cdot r} + \frac{R}{r}$	$\left(\frac{R}{r}\right)^2 + \frac{R+r}{2} + \sqrt{R \cdot r}$
400	68,75	55,74	3,82	59,56	124,5	128,31	139,11
400 + д1	77,5	60,85	4,25	65,1	138,35	142,6	156,44
400 + д2	71,65	58,72	3,68	62,4	130,38	134,06	143,9
400 + д1 + д2	72,55	58,02	4,0	62,03	130,6	134,6	146,6

Графическая интерпретация зависимостей  $R_{пр} = f(R, r)$  представлена на рисунке.

Анализ этих данных показал, что, пользуясь любым из графиков, можно находить  $R_{пр}$  по результатам испытаний стандартных балочек на изгиб и сжатие, подсчитывая те или иные сочетания  $r$  и  $R$ .

Надо заметить, что помимо учета специфического влияния прочности раствора на растяжение при изгибе на прочность бетона при сжатии введение её в расчёт увеличивает объем используемой информации, так как дополнительно к шести показателям на сжатие вводится в расчет три результата

прочности растяжения при изгибе, получаемые в результате стандартного определения активности цемента.

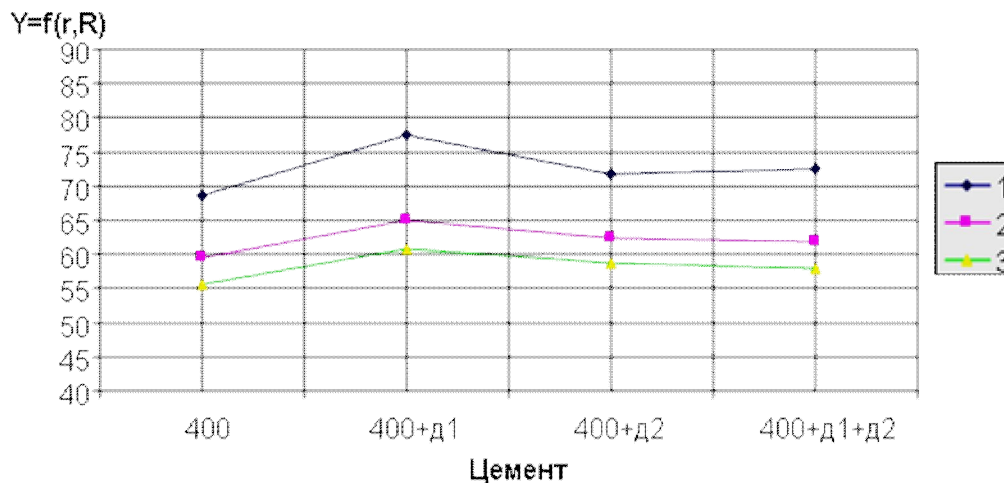


Рис. – Графические зависимости для определения приведенной активности цемента с добавками по результатам испытаний стандартных балочек на изгиб (r) и сжатие (R):

$$1 - \frac{R+r}{2}; 2 - \sqrt{R \cdot r} + \frac{R}{r}; 3 - \sqrt{R \cdot r}.$$

Переход от шести измерений к девяти при том же коэффициенте вариации уменьшает, согласно распределению Стьюдента, допуск определяемой величины с надежностью 0,9 в 1,3 раза [4].

**Выводы.** Следовательно, используя промышленные отходы мы можем повысить характеристики вяжущего, а следовательно и бетона, при этом уменьшить размеры отвалов и улучшить окружающую природную среду. Учитывая приведенную активность, которая является представительной характеристикой активности цемента, обеспечим более четкую связь с прочностью бетона.

**Список литературы:** 1. Баталин Б.С. Вред и польза шлаковых отвалов / Б.С. Баталин // Природа. – 2003. – № 10. 2. Меркин А.П. Новые технологические решения в производстве ячеистых бетонов / А.П. Меркин, М.И. Зейфман // Промышленность автоклавных материалов и местных вяжущих. – 1982. – Вып. 2. – С. 28 – 32. 3. Сулковский И.А. Подбор состава бетона и управление его производством / И.А. Сулковский. – Ташкент: ФАН, 1980. – 135 с. 4. Дворкин О.Л. Проектирование и анализ эффективности составов бетона: [монография] / [О.Л. Дворкин, Л.И. Дворкин, М.В. Горячих, В.Н. Шмигальский]. – Ровно: НУВГП, 2009. – 177 с.

Поступила в редколлегию 14.06.11