

УДК 666.974.2

**А. Н. ЕФРЕМОВ, О. Б. КОНЕВ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**БЕСЦЕМЕНТНЫЕ ШЛАКОБЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ОТВАЛЬНЫХ  
СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ**

Показано, что чрезмерно быстросхватывающиеся жидкостекольные мелкозернистые бетонные смеси в течение первых 30 минут после схватывания или 50...60 минут после затворения сохраняют пластичность, достаточную для формования методом полусухого прессования плотных изделий, что обеспечивает дальнейшее их твердение. Установлено влияние концентрации и расхода жидкого стекла на прочность жидкостекольных бетонов на основе вяжущих из дисперсных гранулированного доменного и кристаллических сталеплавильных шлаков. Получены бесцементные шлакобетоны полусухого прессования марок 100–200.

**жидкостекольные вяжущие на основе сталеплавильных шлаков, шлакобетоны полусухого прессования****ВВЕДЕНИЕ**

На основе шлакощелочных вяжущих, затворенных жидким стеклом с силикатным модулем 1,0...2,2 и плотностью 1,20...1,25 г/см<sup>3</sup>, можно получать бетоны марок 700...1 000 и более, а при использовании промышленного стекла с модулем 2,6...3,4 той же концентрации – бетоны марок 300–700 [1, 2]. Однако такие вяжущие, особенно на свежемолотых основных доменных граншлаках, характеризуются чрезмерно короткими сроками схватывания, что существенно ограничивает возможность их применения [2, 3].

В последние годы в черной металлургии с целью извлечения металла и утилизации приступили к широкой переработке отвальных сталеплавильных шлаков. Технология переработки включает дробление, магнитную сепарацию металлизированных составляющих, рассев шлака на фракции для продажи строителям. При этом, например, на заводе «Донецксталь» образуется значительное количество песчано-щебенистой смеси фракции 0–8(10) мм, которая пользуется незначительным спросом у потребителей, в немалой степени из-за значительного, до 40 %, содержания пылевидной фракции менее 0,16 мм. Эта фракция образовалась в результате силикатного распада минералов шлаков и состоит в основном из  $\gamma$ -2CaO·SiO<sub>2</sub>.

В технологии жаростойких бетонов получили широкое применение жидкостекольные вяжущие композиции с отвердителями из саморассыпающихся кристаллических шлаков и нефелинового шлама. Их твердение происходит, вероятно, за счет взаимодействия силиката натрия с  $\gamma$ -2CaO·SiO<sub>2</sub> по поверхности разрыхленных тонкодисперсных частиц с образованием гелеобразных гидросиликатов типа (Na<sub>2</sub>O, CaO) · nSiO<sub>2</sub> · mH<sub>2</sub>O. Такие вяжущие также имеют чрезмерно короткие сроки схватывания [4].

Научная гипотеза работы: в течение 30...60 минут после схватывания жидкостекольные мелкозернистые песчано-щебенистые смеси из сталеплавильных шлаков сохранят пластичность, достаточную для формования плотных изделий методом полусухого прессования. Прессование даст необходимое уплотнение бетона и восстановит коагуляционные связи, что обеспечит дальнейшее твердение изделий.

**Цель работы** – разработка технологии и исследование эксплуатационных свойств изделий полусухого прессования на основе стабилизированных сталеплавильных кристаллических шлаков и жидкого стекла.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве шлакового компонента вяжущих использовались пылеватая часть фракции менее 0,16 мм мартеновского и электросталеплавильного шлаков завода «Донецксталь» и молотый доменный граншлак Мариупольского комбината им. Ильича с остатками сите 0,08 мм соответственно 12, 16 и 8 %. Силикатный модуль жидкого стекла составлял 2,9, а плотность изменялось от 1,2 до 1,3 г/см<sup>3</sup>.

Анализ гранулометрического состава песчано-щебенистой смеси шлака фракции 0–10 мм показал (табл. 1), что она содержит 22,7 и 19,8 % соответственно пылевидной и щебенистой фракций, песчаная фракция 0,16...5,00 мм имеет модуль крупности 2,8 и относится к крупнозернистым пескам.

**Таблица 1** – Гранулометрический состав шлака фракции 0–10 мм

Показатели свойств	Остатки, %, на ситах с ячейкой, мм						
	5	2,5	1,25	0,63	0,314	0,16	дно
Частные остатки фракции 0–10 мм	19,8	12,9	15,1	16,4	20,4	15,4	22,7
Частные остатки фракции 0,16–5 мм	–	16,1	18,8	20,4	25,4	19,3	–
Общие остатки фракции 0,16–5 мм	–	16,1	34,9	55,3	80,7	100	–

Щебенистая фракция 5...10 мм характеризуется высокой прочностью, ее дробимость равна 11,9...12,1 %, что согласно ДСТУ Б В.2.7-35-95 по пределу прочности при сжатии соответствует марке 1200 (120 МПа). Щебень характеризуется стабильной структурой и практически не подвержен распаду – потеря массы после прогрева в автоклаве колеблется в пределах 0,4...1,6 % (табл. 2).

**Таблица 2** – Физико-механические свойства шлаковых фракций

Фракция, мм	Дробимость, %	Стойкость структуры (потери массы), %	Модуль крупности	Средняя насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>
0–10	–	–	–	1 490
0,16–5	–	–	2,8	1 430
5–10	11,9–12,1	0,4–1,6	–	1 545

Активность вяжущих изучалась на образцах-кубиках с ребром 2 см, заформованных из теста нормальной густоты (ДСТУ EN 196-3:2007). Исследования бетонов проводили на цилиндрах диаметром 7 см, отпрессованных при давлении 20 МПа. Бетонные смеси приготавливались из 30 % тонкодисперсных шлаков, 25 % песчаной и 45 % щебенистой фракции шлака. Расход жидкого стекла изменялся в пределах 14...22 % от массы сухой части бетонов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Установлено, что нормальная густота вяжущих на основе кристаллических шлаков в 1,57...1,72 превышает нормальную густоту теста вяжущих из молотого доменного граншлака (табл. 3). Это свидетельствует о значительном разрыхлении поверхности частиц электросталеплавильного и мартеновского шлаков в результате силикатного распада.

Сроки схватывания всех вяжущих короткие: начало 14...27, конец 18...30 минут. С увеличением плотности жидкого стекла сроки схватывания увеличиваются, а нормальная густота теста уменьшается, хотя и незначительно.

Исследовано влияние времени выдержки полусухой бетонной смеси с момента схватывания вяжущего до момента формирования прессованием на прочность бетонов. Результаты этих исследований приведены на рис. 1. Их анализ показывает, что выдержка смесей в течение 30...60 минут после схватывания вяжущих снижает прочность бетонных образцов соответственно на 15...25 и 38...40 %. Т. е. в течение первых 30 минут после схватывания или 50...60 минут после затворения смеси должны быть заформованы.

Результаты исследования влияния плотности жидкого стекла на прочность мелкозернистого прессованного бетона приведены на рис. 2. Они свидетельствуют о том, что с увеличением плотности жидкого стекла прочность бетонов на всех видах исследованных шлаков растет. Однако этот рост незначительный и составляет при увеличении плотности жидкого стекла от 1,20 до 1,30 г/см<sup>3</sup> на 10...22 %.

Таблица 3 – Нормальная густота, сроки схватывания и активность вяжущих

№ п/п	Вид шлака	Плотность жидкого стекла, г/см <sup>3</sup>	Нормальная густота, %*	Время схватывания, мин		Прочность при сжатии, МПа
				начало	конец	
1	Молотый доменный гранулированный	1,2	23,3	22	26	12,2
2		1,3	22,0	27	38	18,4
3	Электросталеплавильный	1,2	37,6	14	18	14,1
4		1,3	36,2	17	23	21,0
5	Мартеновский	1,2	40,1	18	24	8,6
6		1,3	37,9	23	30	11,2

\*Примечание: нормальная густота рассчитывалась как отношение массы воды в жидком стекле к суммарной массе шлаков и сухого силиката натрия жидкого стекла (при плотности 1,2 и 1,3 г/см<sup>3</sup> концентрация силиката натрия принималась согласно [5] соответственно 18,3 и 28,0 %).

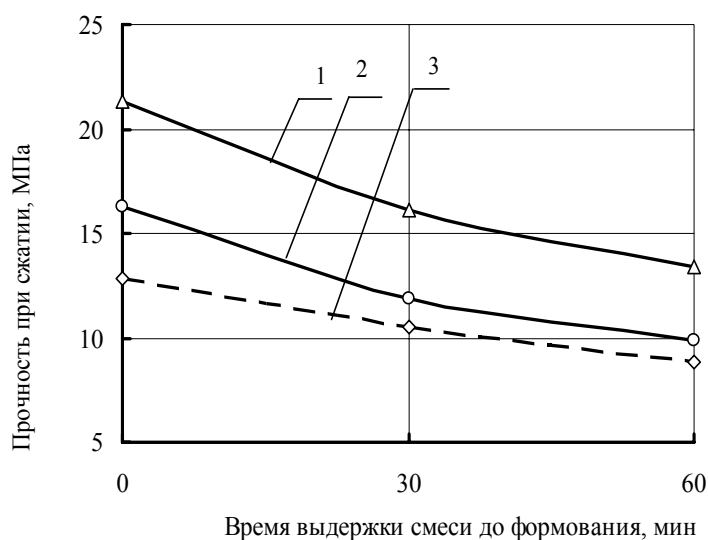


Рисунок 1 – Влияние времени предварительной выдержки смеси после схватывания на прочность прессованных бетонов на основе пылевой фракции: 1 – электросталеплавильного шлака; 2 – доменного молотого граншлака; 3 – мартеновского шлака.

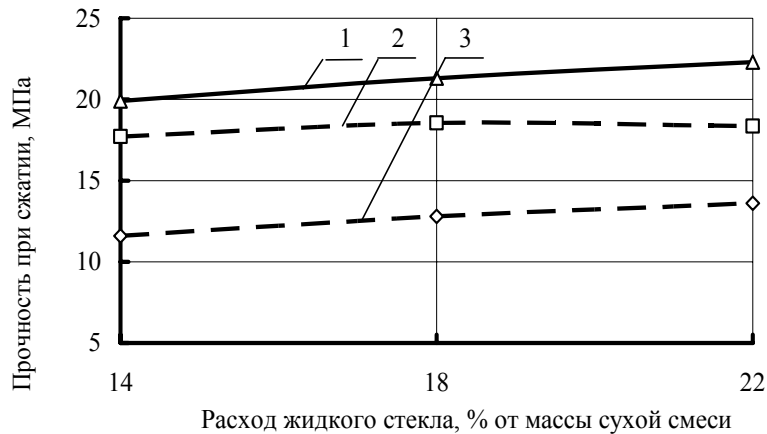
## ВЫВОДЫ

1. Показано, что чрезмерно быстросхватывающиеся жидкостекольные мелкозернистые бетонные смеси в течение первых 30 минут после схватывания или 50...60 минут после затворения сохраняют пластичность, достаточную для формования методом полусухого прессования плотных изделий, что обеспечивает дальнейшее их твердение.

2. Установлено, что при плотности 1,2...1,3 г/см<sup>3</sup> и расходе 14...18 % жидкого стекла от массы сухих компонентов на основе вяжущих из дисперсных гранулированного доменного и кристаллических сталеплавильных шлаков можно получать бесцементные шлакобетоны полусухого прессования марок 100–200.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях [Текст] / [под ред. В. Д. Глуховского]. – К. : Вища шк., 1981. – 224 с.
2. Кривенко, П. В. Специальные шлакощелочные цементы [Текст] / П. В. Кривенко. – К. : Будівельник, 1992. – 192 с.
3. Ефремов, А. Н. Шлакощелочные вяжущие и бетоны с повышенными жаростойкими свойствами [Текст] : дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.05 : защищена 18.11.1981 : утв. 21.04.1982 / А. Н. Ефремов. – К., 1981. – 210 с. : ил. – Библиогр.: С. 143–162.
5. Тарасова, А. П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе [Текст] / А. П. Тарасова. – М. : Стройиздат, 1982. – 132 с.



**Рисунок 2** – Влияние расхода жидкого стекла плотностью 1,30 г/см<sup>3</sup> на прочность прессованных бетонов на основе пылеватой фракции: 1 – электросталеплавильного шлака; 2 – доменного граншлака (молотого); 3 – мартеновского шлака.

6. Григорьев, П. Н. Растворимое стекло [Текст] / П. Н. Григорьев, В. И. Матвеев. – М. : Промстройиздат, 1956. – 443 с.

Получено 04.02.2016

**О. М. ЄФРЕМОВ, О. Б. КОНЄВ**  
**БЕЗЦЕМЕНТНІ ШЛАКОБЕТОНИ НА ОСНОВІ ВІДВАЛЬНИХ**  
**СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ШЛАКІВ**  
 Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Показано, що надмірно швидкозастійні рідкоскляні дрібнозерністі бетонні суміші протягом перших 30 хвилин після тужавіння або 50...60 хвилин після замішування зберігають пластичність, достатню для формування методом напівсухого пресування щільних виробів, що забезпечує подальше їх тверднення. Встановлено вплив концентрації і витрати рідкого скла на міцність рідкоскляних бетонів на основі в'язучих з дисперсних гранульованого доменного і кристалічних сталеплавильних шлаків. Отримані безцементні шлакобетони напівсухого пресування марок 100–200.  
**рідкоскляні в'язучі на основі сталеплавильних шлаків, шлакобетони напівсухого пресування**

**ALEXANDER YEFREMOV, OLEG KONEV**  
**THE CEMENTLESS SLAG CONCRETE ON THE BASIS OF DUMP STEEL-**  
**SMELTING SLAGS**  
 Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

It is shown that excessively fast-setting liquid-glass compact-grained concrete mixes within the first 30 minutes after setting or 50...60 minutes after tempering keep the plasticity sufficient for formation by method of a moist molding of the dense products that provides their further concreting. It has been found out the influence of concentration and a consumption of liquid glass on durability of concrete on the basis of knitting from dispersible granule domain and crystalline steel-smelting slags. Cementless cinder concretes of a moist molding of quality class 100–200 have been recovered.  
**liquid-glass bindings on the basis of steel-smelting slags, cinder concretes of a moist molding**

**Єфремов Олександр Миколайович** – доктор технічних наук, професор кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: в'язучі і бетони на основі промислових відходів, жаростійкі та вогнетривкі бетони.

**Конев Олег Борисович** – асистент кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: бетони на основі металургійних шлаків.

**Ефремов Александр Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, жаростойкие и огнеупорные бетоны.

**Конеv Олег Борисович** – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: бетоны на основе металлургических шлаков.

**Yefremov Alexander** – D.Sc. (Eng.), Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: binders and concretes on the basis of industrial waste, refractory concretes.

**Konev Oleg** – Assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concrete on the basis of metallurgical slags.