



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО  
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО  
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2018, ТОМ 14, НОМЕР 3, 193–200

УДК 666.974.2

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТВЕРДЕНИЯ НА СВОЙСТВА БЕЗЦЕМЕНТНОГО ПРЕССОВАННОГО ШЛАКОБЕТОНА НА ОСНОВЕ НАТРИЕВОГО ЖИДКОГО СТЕКЛА

**О. Б. Конев**

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.  
E-mail: olezha-konev@yandex.ru*

*Получена 19 октября 2018; принята 23 ноября 2018.*

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований свойств шлакобетонов на основе натриевого жидкого стекла с плотностью  $1\,300\text{ кг/м}^3$  и силикатным модулем 2,9. Разработаны безцементные шлакобетоны полусухого прессования на основе малоизученных кристаллических мартемовских, электросталеплавильных шлаков завода «Донецксталь» и конверторных шлаков Енакиевского металлургического завода с прочностью при сжатии 11...32 МПа. Проведено сравнение с аналогичными композициями на основе молотого доменного граншлака. Определен механизм твердения шлакобетонов в нормальных условиях, в воде, при пропаривании и при запаривании. Изученные бетоны характеризуются быстрым твердением в ранние сроки.

**Ключевые слова:** сталеплавильные шлаки, конверторные шлаки, мартемовские шлаки, жидкое стекло, шлакощелочные бетоны.

## ВПЛИВ УМОВ ТВЕРДНІННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ БЕЗЦЕМЕНТНОГО ПРЕСОВАНОГО ШЛАКОБЕТОНУ НА ОСНОВІ НАТРІЄВОГО РІДКОГО СКЛА

**О. Б. Конев**

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.  
E-mail: olezha-konev@yandex.ru*

*Отримана 19 жовтня 2018; прийнята 23 листопада 2018.*

**Анотація.** У статті представлені результати досліджень властивостей шлакобетонів на основі натрієвого рідкого скла з щільністю  $1\,300\text{ кг/м}^3$  і силікатним модулем 2,9. Розроблено безцементні шлакобетони напівсухого пресування на основі маловивчених кристалічних мартемовських, електросталеплавильних шлаків заводу «Донецьксталь» і конверторних шлаків Єнакіївського металургійного заводу з міцністю при стиску 11...32 МПа. Проведено порівняння з аналогічними композиціями на основі молотого доменного граншлаку. Визначено механізм тверднення шлакобетонів у нормальних умовах, у воді, при пропарюванні і при запарюванні. Вивчені бетони характеризуються швидким твердненням в ранні строки.

**Ключові слова:** сталеплавильні шлаки, конверторні шлаки, мартемовські шлаки, рідке скло, шлакощелочні бетони.

## INFLUENCE OF HARDENING CONDITIONS ON THE PROPERTIES OF CEMENT-FREE PRESSED SLAG CONCRETE BASED ON SODIUM LIQUID GLASS

**Oleg Konev**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.  
E-mail: olezha-konev@yandex.ru*

*Received 19 October 2018; accepted 23 November 2018.*

**Abstract.** In the article it has been presented results of researches of properties of slag concretes on the basis of sodium silicate with a concentration 1 300 kg/m<sup>3</sup> and silica module 2.9. It has been developed nonconcrete slag concretes of a moist molding on the basis of poorly studied crystalline martin, electro steel-smelting slag of the Donetskstal plant and converter slags of the Yenakieve steel works with a compressive strength of 11...32 MP. It has been carried out the comparison with similar compositions on the basis of ground domain granulated slag. It has been determined mechanism of concreting of cinder concretes in standard conditions, in water, at steam curing and at steaming. The studied concrete describe by quick hardening in early terms.

**Keywords:** steelmaking slag, converter slag, open-hearth slag, liquid glass, slag-alkali concrete.

### Введение

Разработанные на Украине в 50–90-е годы прошлого столетия шлакощелочные вяжущие и различные бетоны на их основе находят все большее применение в строительстве жилых, гражданских и промышленных зданий и сооружений [1–4].

Шлакощелочной цемент является сочетанием порошков силикатов системы CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> и соединений щелочных металлов, которые дают в водных растворах сильную щелочную реакцию (рН > 13). В качестве порошкообразного силикатного компонента пригодны метастабильные, растворимые в щелочных растворах материалы. К ним, в первую очередь, относятся стекловидные металлургические шлаки (доменный, элетротермофосфорный, ваграночный граншлаки и т. п.). Наиболее широко используют доменные граншлаки [2–4]. В настоящее время после некоторого спада интерес к шлакам как к сырьевому компоненту различных строительных материалов значительно возрос [13, 14].

Шлак должен иметь тонкость помола 2,8...3,5 тыс. см<sup>2</sup>/г, т. е. она соизмерима с дисперсностью портландцемента. Его модуль основности может составлять от 0,6 до 1,2.

В качестве щелочных компонентов используют соединения следующих основных групп:

- гидроксиды натрия или калия;
- несиликатные соли слабых кислот – Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaF, KF и другие;
- силикатные соли – Na<sub>2</sub>O, nSiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, nSiO<sub>2</sub>;

На практике в основном используют гидроксид и карбонат натрия в виде водных растворов плотностью 1 150...1 200 кг/м<sup>3</sup> (в пересчете на сухие заполнители бетонов), потому что эти соединения значительно дешевле, менее дефицитны и обеспечивают нормальные сроки схватывания. Применение водных растворов силикатов натрия (жидких стекол) ограничено тем, что в композициях со свежемолотым основным доменным граншлаком вяжущие характеризуются чрезмерно короткими сроками схватывания. При использовании наиболее активных силикатов натрия с кремнеземистым модулем 1–2 они составляют 3–10 минут, при применении промышленного жидкого стекла с модулем 2,8–3,0 увеличиваются до 10–20 минут.

В последние 10–20 лет на металлургических предприятиях бывшего Советского Союза приступили к широкой переработке отвальных доменных и сталеплавильных шлаков с целью извлечения металла и получения фракционированной шлаковой продукции. При этом наиболее мелкие песчано-щебенистые фракции 0...5 и 0...10 мм, как правило, пользуются наименьшим

спросом у потребителей. Одной из основных причин этого является значительное – до 40 % по массе, содержание пылеватой фракции менее 0,16 мм. Эта фракция состоит, главным образом, из  $\gamma$ - $2\text{CaO}\cdot m\text{SiO}_2$ , образовавшегося в результате силикатного распада [5, 6].

Из работ В. Д. Глуховского, П. В. Кривенко, А. Н. Ефремова и других известно, что шлакощелочные вяжущие на основе кристаллических шлаков и щелочных компонентов первых двух групп практически не твердеют. Однако в технологии жаростойких бетонов получили широкое применение вяжущие композиции из самораспадающихся кристаллических шлаков и нефелинового шлама, твердение которых происходит за счет взаимодействия силиката натрия с  $\gamma$ - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , вероятно, по поверхности разрыхленных шлаковых частиц с образованием гелеобразных гидросиликатов типа  $(\text{Na}_2\text{O}, \text{CaO})\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Такие вяжущие тоже имеют чрезмерно короткие сроки схватывания, которые в жаростойких бетонах доводятся до приемлемых величин за счет разбавления смешанных вяжущих тонкомолотыми огнеупорными наполнителями (шамотом, кварцитом и др.) [3, 4, 7–11].

### Цель работы

Разработка технологии и исследование эксплуатационных свойств бетонов полусухого прессования на основе стабилизированных сталеплавильных кристаллических шлаков и жидкого стекла.

### Объекты и методы исследований

В качестве шлакового компонента вяжущих использовались фракции менее 0,16 мм мартеновского и электросталеплавильного шлаков завода «Донецксталь», конверторный шлак завода ЕМЗ (Енакиевский металлургический завод) и молотый доменный гранулированный шлак Мариупольского комбината им. Ильича с остатками в сите 0,08 мм соответственно 12, 16, 14 и 8 %. Жидкое стекло имело силикатный модуль 2,9 и плотность 1 300 кг/м<sup>3</sup>.

В качестве мелкого и крупного заполнителей применяли стабилизированные песчаную и щебенистую фракции 0,16...5 и 5...10 мм мартеновского

шлака. Щебенистая фракция по пределу прочности при стандартном испытании (ГОСТ 5578-94, ГОСТ 8269.0-97) соответствовала марке 1200. Для испытания бетонов применялись образцы-цилиндры диаметром и высотой 7 см, отпрессованные при давлении 20 МПа.

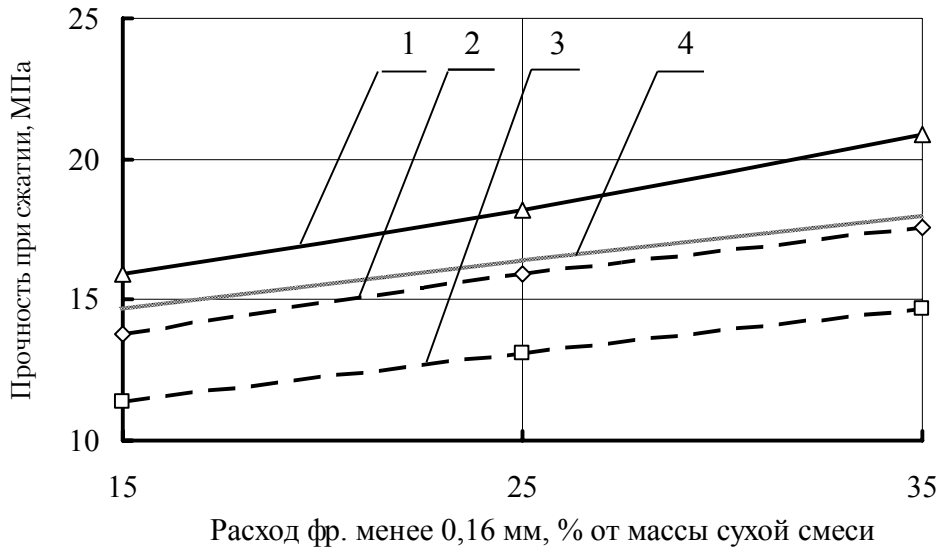
### Анализ результатов исследований

Проведены сравнительные исследования зависимости активности камня вяжущих на основе молотого доменного граншлака и вяжущих из мартеновского, электросталеплавильного и конверторного шлаков от плотности жидкого стекла. Их результаты приведены на рисунке 1. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что при нормальных условиях твердения с увеличением плотности жидкого стекла активность вяжущих на всех шлаках растет практически прямо пропорционально.

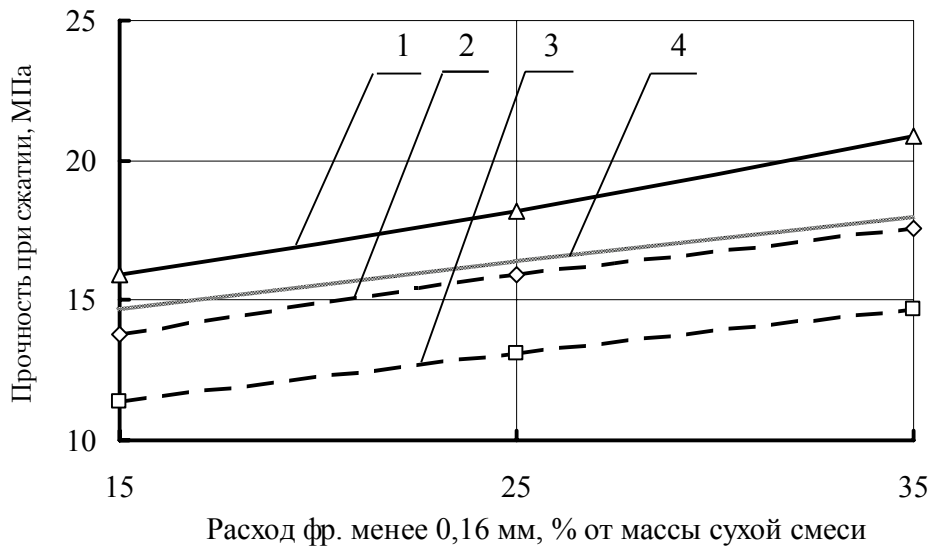
Результаты исследования влияния расхода тонкодисперсной шлаковой составляющей вяжущих на прочность бетона (рис. 2) показывают, что при увеличении ее расхода с 15 до 22,5 % прочность бетонов, особенно на электросталеплавильном шлаке, заметно возрастает. Так, после 28 суток твердения в нормальных условиях прочность бетона с увеличением расхода дисперсного электросталеплавильного шлака возрастает на 12,5 %, а для остальных шлаков на 5...7 %.

С увеличением расхода дисперсных составляющих всех шлаков до 30 % от их суммы масс с заполнителями прирост прочности незначителен и колеблется от 1...2,5 %. При этом бетоны тоже отличаются быстрым твердением в ранние сроки.

Важной технологической характеристикой полусухих формовочных смесей является влажность. При недостаточной влажности возможна недопрессовка и расслоение сырца изделий. При переувлажнении – недостаточная прочность сырца и его разрушение при выпрессовке. Для определения рациональной влажности смеси исследовано влияние расхода жидкого стекла на прочность мелкозернистых бетонов. Результаты этих исследований приведены на рисунке 3 и их анализ позволяют утверждать, что оптимальная влажность бетонных смесей соответствует 10...12 % при использовании молотого доменного гранулированного шлака и



**Рисунок 1.** Влияние плотности жидкого стекла на прочность пресованных бетонов на основе пылевой фракции: 1 – электросталеплавильного шлака; 2 – доменного граншлака (молотого); 3 – мартеновского шлака; 4 – конверторного шлака.



**Рисунок 2.** Влияние расхода пылевой фракции на прочность пресованных бетонов на основе: 1 – электросталеплавильного шлака; 2 – доменного граншлака (молотого); 3 – мартеновского шлака, 4 – конверторного шлака.

14...16 % – при применении саморассыпающихся кристаллических шлаков.

Как известно [12], заполнители из отвальных сталеплавильных шлаков подвержены силикатному распаду, что может вызвать снижение прочности бетона и даже полное его разрушение. Для проверки стабильности заполнителей проведены исследования зависимости прочности от длительности твердения бетонов в нормальных условиях и в воде. Анализ результатов, приведенных в табл. 1 и 2, показывает, что в течение трех лет выдержки в нормальных условиях прочность

бетонов возрастает на 89...131 % по сравнению с образцами 28-суточного возраста. Аналогичные результаты получены при выдержке образцов в воде, но прочность бетонов на вяжущих из тонкодисперсного мартеновского и доменного шлака растет несколько меньше, на 37...71 %. Характерно, что образцы на электросталеплавильном шлаке в воде утраивают свою прочность.

Результаты исследования влияния длительности тепловлажностной обработки при температуре 85 °С показали (табл. 3), что соотношение между активностью вяжущих из исследованных

Таблица 1. Зависимость прочности бетонов от длительности твердения в нормальных условиях

№ п/п	Вид дисперсного шлака	Прочность при сжатии (МПа перед чертой, % после черты), после твердения в течение, сут.					
		7	28	90	365	730	1095
1	Электросталеплавильный	13,3/82	16,2/100	23,6/146	27,4/169	33,7/208	37,5/231
2	Доменный граншлак	7,2/78	9,2/100	12,6/137	14,8/161	16,7/181	18,3/199
3	Мартеновский	6,1/76	8,0/100	10,8/135	12,2/153	13,9/174	15,1/189
4	Конверторный	9,7/80	12,1/100	17,2/142	19,8/164	23,8/197	26,3/217

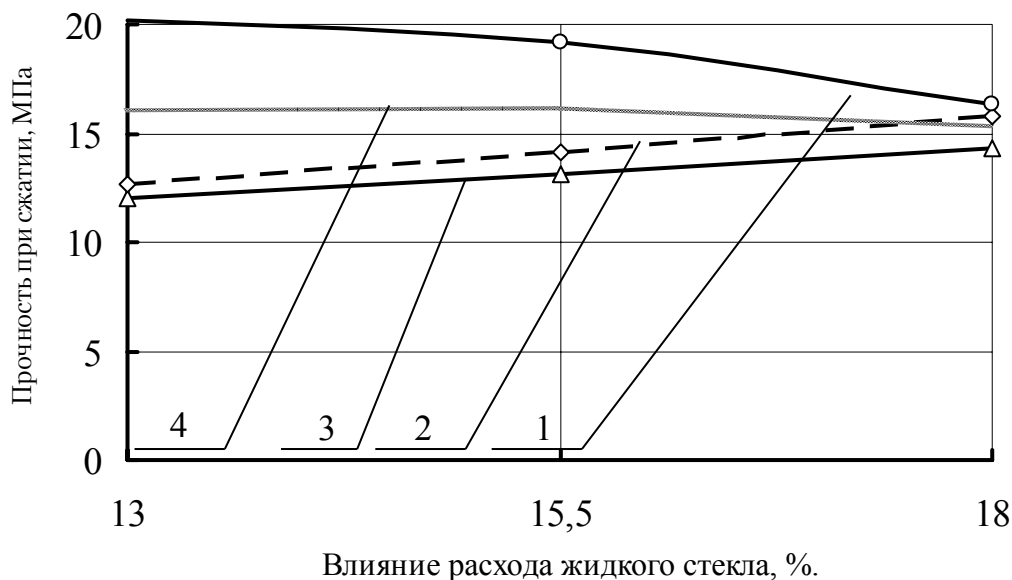


Рисунок 3. Зависимость прочности прессованного бетона от расхода жидкого стекла на основе: 1 – электросталеплавильного шлака; 2 – доменного граншлака (молотого); 3 – мартеновского шлака, 4 – конверторного шлака.

шлаков остается примерно таким же, как и при нормальном твердении. При этом следует отметить два момента: во-первых, установлено, что при пропаривании наиболее интенсивно прочность растет в первые 8 часов изотермической выдержки; во-вторых, за это время бетоны набирают практически 150...190 % прочности от прочности образцов, твердеющих в стандартных условиях.

Наибольшая скорость твердения всех бетонов наблюдается при автоклавной обработке в среде насыщенного пара. Так, уже за 2 часа прогрева при давлении 2 атм. прочность образцов превышает прочность соответствующих аналогов нормального твердения на 22...58 %. Характерно, что подъем давления до 8 атм. повышает прочность бетонов всех составов незначительно (табл. 4).

Увеличение времени изотермической выдержки свыше 8 часов при давлении 2 атм. и свыше 4 часов при давлении 8 атм. вызывает спад прочности бетонов, вяжущие в которых состоят из кристаллических шлаков. Бетоны на доменном

гранулированном шлаке продолжают наращивать прочность, но ее прирост при увеличении длительности прогрева более 4...8 часов незначительный.

Подъем давления пара с 2 до 8 атм. также сопровождается несущественным ростом прочности, и он характерен в основном для вяжущего на основе доменного гранулированного шлака. Кроме того, увеличение давления вызывает спад прочности бетонов на кристаллических шлаках в более ранние сроки изотермического прогрева.

### Выводы

1. На основе жидкостекольных вяжущих со структурообразующими дисперсными сталеплавильными шлаками разработаны бетоны полусухого прессования с прочностью при сжатии 11...32 МПа, а на молотом доменном гранулированном шлаке — 28...45 МПа.
2. Бетоны характеризуются быстрым твердением в нормальных условиях и воде, при пропаривании и автоклавировании.

Таблица 2. Зависимость прочности бетонов от времени твердения в воде

№ п/п	Вид дисперсного шлака	Прочность (МПа перед чертой, % после черты) после твердения в течение, сут.					
		7	28	90	365	730	1095
1	Электросталеплавильный	7,5/64	11,8/100	19,7/167	24,1/204	29,4/249	32,3/274
2	Доменный граншлак	4,5/59	7,6/100	10,1/133	11,2/160	13,9/183	15,1/199
3	Мартеновский	4,3/61	7,0/100	8,5/121	9,6/137	10,8/154	12,0/171
4	Конверторный	5,9/63	9,4/100	14,1/150	14,8/157	20,1/213	22,1/235

Таблица 3. Зависимость прочности бетонов от времени изотермического прогрева при пропаривании

№ п/п	Вид дисперсного шлака	Прочность (МПа перед чертой, % после черты) после пропаривания в течение, ч		
		2	8	16
1	Электросталеплавильный	13,5	17,9/100	19,8/111
2	Доменный граншлак	11,3	14,7/100	19,2/130
3	Мартеновский	8,9	11,7/100	14,3/122
4	Конверторный	11,2	14,8/100	17,1/115

Таблица 4. Зависимость прочности прессованных бетонов от температуры и длительности автоклавирования

№ п/п	Вид дисперсного шлака	Давление пара при изотермической выдержки, атм.	Прочность при сжатии, МПа, после изотермической выдержки в течение, ч			
			2	4	8	24
1	Электросталеплавильный	2	15,4	15,6	16,1	14,9
		8	16,6	18,0	17,2	15,7
2	Доменный граншлак	2	34,3	36,8	38,5	39,8
		8	35,9	40,5	43,0	44,9
3	Мартеновский	2	25,6	30,9	32,1	28,8
		8	26,1	27,6	24,0	21,7
4	Конверторный	2	20,1	23,2	24,0	21,0
		8	21,35	22,8	20,6	18,7

## Литература

1. Глуховский, В. Д. Грунтосиликаты / В. Д. Глуховский. – К. : Госстройиздат, 1959. – 126 с.
2. Глуховский, В. Д. Шлакощелочные цементы и бетоны / В. Д. Глуховский, В. А. Пахомов. – К. : Будівельник, 1978. – 184 с.
3. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны / [под общ. ред. В. Д. Глуховского]. – К. : Вища шк., 1979. – 232 с.
4. Кривенко, П. В. Специальные шлакощелочные цементы / П. В. Кривенко. – К. : Будівельник, 1992. – 192 с.
5. Торопов, Н. А. Химия цементов / Н. А. Торопов. – М. : Стройиздат, 1956. – 272 с.
6. Бетоны и изделия на шлаковых и зольных цементах / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, Б. Н. Виноградов [и др.]. – М. : Стройиздат, 1963. – 362 с.
7. Ефремов, А. Н. Шлакощелочные вяжущие и бетоны с повышенными жаростойкими свойствами : дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.05 : защищена 18.11.1981 : утв. 21.04.1982 / Ефремов Александр Николаевич – К., 1981. – 210 с. : ил. – Библиогр. : С. 143–162.
8. Тарасова, А. П. Свойства жаростойкого бетона на жидком стекле с нефелиновым шлаком / А. П. Тарасова, А. А. Блюсин // Жаростойкие бетоны : сб. науч. тр. ; [Под ред. д-ра тех. наук, проф. К. Д. Некрасова] / Научно-исследовательский институт бетона и железобетона. – М. : Стройиздат, 1964. – С. 139–156.
9. Тарасова, А. П. Жаростойкие бетоны на жидком стекле со шлаками ферросплавных производств / А. П. Тарасова, А. А. Блюсин // Жаростойкие бетоны : сб. науч. тр. ; [Под ред. д-ра тех. наук, проф. К. Д. Некрасова] / Научно-исследовательский институт бетона и железобетона. – М. : Стройиздат. – 1964. – С. 157–168.

## Reference

1. Glukhovsky, V. D. Groutosilicates / V. D. Glukhovsky. – K. : Gosstroyizdat, 1959. – 126 p. (in Russian)
2. Glukhovsky, V. D. Slag alkaline cements and concretes / V. D. Glukhovsky, V. A. Pakhomov. – K. : Budivelnik, 1978. – 184 p. (in Russian)
3. Alkaline and alkali-alkaline-earth hydraulic binders and concretes / [under total. ed. V. D. Glukhovsky]. – K. : Vishcha shk., 1979. – 232 p. (in Russian)
4. Krivenko, P. V. Special slag-alkali cements / P. V. Krivenko. – K. : Budivelnik, 1992. – 192 p. (in Russian)
5. Toropov, N. A. Chemistry of Cements / N. A. Toropov. – M. : Stroyizdat, 1956. – 272 p. (in Russian)
6. Concretes and products on slag and ash cements / A. V. Volzhensky, Yu. S. Burov, B. N. Vinogradov [and others]. – M. : Stroyizdat, 1963. – 362 p. (in Russian)
7. Efremov, A. N. Slag alkaline binders and concretes with increased heat-resistant properties : dis. ... candidate tech. sciences: 05.23.05 : is protected 18.11.1981: utv. 21.04.1982 / Efremov Alexander – K., 1981. – 210 p. : il. – Bibliogr. : P. 143–162. (in Russian)
8. Tarasova, A. P. Properties of heat-resistant concrete on liquid glass with nepheline sludge / A. P. Tarasova, A. A. Bluesin // Heat-resistant concrete: Proc. scientific tr. ; [Ed. Dr. those. sciences, prof. K. D. Nekrasova] / Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete. – M. : Stroyizdat, 1964. – P. 139–156. (in Russian)
9. Tarasova, A. P. Heat-resistant concretes on liquid glass with slags of ferroalloy productions / A. P. Tarasova, A. A. Bluesin // Heat-resistant concrete: Proc.

10. Тарасова, А. П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе / А. П. Тарасова. – М. : Стройиздат, 1982. – 132 с.
11. Огнеупорный бетон для монолитных футеровок сталеразливочных ковшей / В. Г. Флягин, Д. С. Рутман, А. Д. Попов [и др.] // Огнеупоры. 1977. № 9. С. 29–32.
12. Федыкин, Н. И. Высокопрочный мелкозернистый шлакобетон / Н. И. Федыкин, М. И. Диамант // Бетон и железобетон. 1999. № 4. С. 24–26.
13. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности : учебно-справочное пособие / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Ростов-н/Д : Феникс, 2007. – 368 с.
- scientific tr. ; [Ed. Dr. those. sciences, prof. K. D. Nekrasova] / Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete. – M. : Stroyizdat. – 1964. – P. 157–168. (in Russian)
10. Tarasova, A. P. Heat-resistant binders on liquid glass and concretes based on them / A. P. Tarasova. – M. : Stroyizdat, 1982. – 132 p. (in Russian)
11. Refractory concrete for monolithic linings of steel casting ladles / W. G. Flyagin, D. S. Rutman, A. D. Popov [and others] // In: *Refractories*. 1977. № 9. P. 29–32. (in Russian)
12. Fedykin, N. I. High-strength fine-grained slag concrete / N. I. Fedykin, M. I. Diamant // In: *Concrete and reinforced concrete*. 1999. № 4. P. 24–26. (in Russian)
13. Dvorkin, L. I. Building materials from industrial wastes: a training manual / L. I. Dvorkin, O. L. Dvorkin. – Rostov-on-Don : Phoenix, 2007. – 368 p. (in Russian)

**Конев Олег Борисович** – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны на основе кристаллических металлургических шлаков и жидкого стекла.

**Конев Олег Борисович** – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони на основі кристалічних металургійних шлаків і рідкого скла.

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