

**ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШЛАКОЛУЖНОГО ЦЕМЕНТУ  
ТА БЕТОНУ НА ЙОГО ОСНОВІ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДУ  
ФЛОТАЦІЇ ЗОЛОТОВМІСНОЇ РУДИ**

**Гоц В.І.**, д.т.н., професор,  
**Ластівка О.В.**, к.т.н. доцент,  
**Волинська Є.В.**, аспірант,  
**Шимко А.О.**, магістр,  
**Томін А.О.**, студент,

*Київський національний університет будівництва та архітектури*  
elizabeth13n@gmail.com

**Анотація.** У статті розглядається вплив відходу флотації золотовмісної руди на формування фізико-механічних властивостей цементів загальнобудівельного призначення та бетонів на їх основі. Показано ефективність використання відходу флотації золотовмісної руди, як в якості компонента в шлаколужному цементі, так і в якості дрібного заповнювача в складі бетону. Введення відходу флотації золотовмісної руди до складу шлаколужного цементу та бетону на його основі забезпечує отримання високої ранньої та марочної міцності матеріалу, а також впливає на зменшення показників водопоглинання та об'єму відкритої капілярної пористості бетону.

**Ключові слова:** цемент, бетон, строки тужавлення, міцність, водопоглинання, капілярна пористість.

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ЦЕМЕНТА  
И БЕТОНА НА ЕГО ОСНОВЕ С ИСПОЛЗОВАНИЕМ ОТХОДА  
ФЛОТАЦИИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ**

**Гоц В.И.**, д.т.н., профессор,  
**Ластивка О.В.**, к.т.н., доцент,  
**Волынская Е.В.**, аспирант,  
**Шимко А.А.**, магистр,  
**Томин А.А.**, студент,

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*  
elizabeth13n@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние отхода флотации золотосодержащей руды на формирование физико-механических свойств цементов общестроительного применения и бетонов на их основе. Показана эффективность использования отхода флотации золотосодержащей руды, как в качестве компонента в шлакощелочном цементе, так и в качестве мелкого заполнителя в составе бетона. Введение отхода флотации золотосодержащей руды в состав шлакощелочного цемента и бетона на его основе обеспечивает получение высокой ранней и марочной прочности материала, а так же влияет на уменьшение показателей водопоглощения и объема открытой капиллярной пористости бетона.

**Ключевые слова:** цемент, бетон, сроки схватывания, прочность, водопоглощение, капиллярная пористость.

## PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE BASED ON SLAG-ALKALINE CEMENT WITH THE USE OF WASTE FLOTATION GOLD ORE

**Gotz V.I.**, Doctor of Engineering, Professor

**Lastivka O.V.**, PhD., Assistant Professor,

**Volynska E.V.**, post-graduate student,

**Shimko A.O.**, master

**Tomin A.O.**, bachelor

*Kyiv National University of Construction and Architecture*

elizabeth13n@gmail.com

**Abstract.** The article is said the influence of waste flotation gold ore to formation physical and mechanical properties of concrete for general purpose based on cement. Also using waste flotation gold ore, as building material helps to solve problems of ecology. In the article shown the efficiency of using waste flotation gold ore, as a component in slag-alkaline cement and like a small filler in the concrete. Research findings shows that the waste flotation gold ore with the ordinary portland cement can not be used as active additive because of low early and mark durability of material. But adding waste flotation gold ore to slag-alkaline cement and to concrete gives high early and mark durability of material and work upon to reduce indicators of water absorption and work upon to capacity of open capillary porosity of concrete by ability to structure slag-alkaline cement. Waste flotation gold ore can be used with slag-alkaline cement in the range of 10...30% of cement.

**Keywords:** cement, concrete, solidification, strength, water absorption, capillary porosity.

**Вступ.** В результаті діяльності гірничорудних підприємств утворюється величезна кількість відходів збагачення руд різних металів, які негативно впливають на навколишнє середовище і здоров'я людини [1]. У той же час зростає потреба будівельного комплексу в нових, ефективних, економічно вигідних будівельних матеріалах з високими експлуатаційними і фізико-механічними характеристиками. Тому використання відходів збагачення гірничорудної промисловості в якості сировини для виробництва будівельних матеріалів є актуальним напрямком сучасності. Ряд проведених досліджень і практичний досвід [2-5] показали, що відходи збагачення руд різних металів придатні для виробництва бетонів, штукатурних розчинів, кам'яного лиття.

Особливої уваги, як сировина для виготовлення будівельних матеріалів, зокрема цементів та бетонів на їх основі, заслуговують відходи переробки золотовмісної руди. Протягом останніх років в Україні відкрито багато золоторудних об'єктів: у Карпатській золотоносній провінції, у Донецькому регіоні [6]. Основним мінералом золотовмісних руд є кварц, вміст його коливається від 10 до 80 %. В різних кількостях також присутні оксиди кальцію, алюмінію і заліза, барит, хлорит, серицит, турмалін, глаукоdot. Враховуючи те, що вміст золота розподілено нерівномірно та коливається від 10 до 1000 г/т, це впливає на накопичення відвальних хвостів флотаційного збагачення золотовмісних руд в кількості, що дозволяють їх розглядати як техногенні відходи. Крім цього, вищевказані відходи є екологічно небезпечним джерелом забруднення важкими металами ґрунтових і поверхневих вод та займають значні площі, які не можуть бути використані для сільськогосподарських або для інших цілей народного господарства.

Тому постало питання в можливості використання відвальних хвостів флотаційного збагачення золотовмісних руд в якості мінерального добавки при виготовленні цементів загально будівельного призначення та бетонів на їх основі.

Метою дослідження є дослідження фізико-механічних характеристик властивостей цементів та бетонів на їх основі з використанням відвальних хвостів флотаційного збагачення золотовмісних руд.

**Сировинні матеріали і методи досліджень.** При проведенні досліджень в якості

традиційних цементів загальнобудівельного призначення використані: портландцемент ПЦ І-500, ПЦ ІІ/А-Ш-400 та ШПЦ ІІІ/А-400 ВАТ „Волиньцемент” [7].

В якості алюмосилікатної складової шлаколужного цементу було використано доменний гранульований шлак ВАТ «ММК ім. Ілліча» з  $M_0=1,1$ . Як лужний компонент застосовували п'ятиводний метасилікат натрію ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) та кальциновану соду технічну ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) які вводили до складу цементу в дисперсному стані [8]. Це дозволяє не лише отримувати в'язучі речовини за “цементною” технологією, але й забезпечити комплексну механохімічну активацію шлакової складової лужним компонентом [9]. При виготовленні шлаколужного цементу обов'язковим є введення до його складу лігносульфонату натрію (ЛСТ) для забезпечення задовільних строків тужавлення цементу.

В якості відвальних хвостів (ВХ) флотаційного збагачення золотовмісних руд використано відходи родовища “Сауляк”.

Хімічний склад вихідних сировинних матеріалів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад вихідних сировинних матеріалів

Складові	Вміст оксидів, мас.%,								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	в.п.п.
Клінкер	21,3	5,7	4,62	-	1,2	64,9	0,3	0,86	0,12
Шлак	39,0	5,9	0,3	0,5	5,82	47,3	-	1,54	-
ВХ	60,05	17,0	7,44	-	4,28	7,47	3,74	1,1	-

Для виготовлення бетонів на основі шлаколужного цементу як дрібний заповнювач використовували дніпровський кварцовий пісок з модулем крупності 1,4 (ДСТУ Б В. 2.7-32-95), як крупний заповнювач – щебінь гранітний фракцій 5...20 (ДСТУ Б В. 2.7-75-98).

Кінетику набору міцності цементу (40 × 40 × 160 мм) та бетону (100 × 100 × 100 мм) визначали згідно ДСТУ Б В.2.7-187:2009 та ДСТУ Б В.2.7-214:2009 відповідно. Умови тверднення зразків нормальні: температура  $t=20\pm 2$  °С, вологість  $W=95\pm 5\%$ .

Визначення водопоглинання та пористості бетону проводили згідно з ДСТУ Б В.2.7-170:2008.

**Результати досліджень.** Перший етап досліджень був присвячений впливу ВХ на формування властивостей традиційних цементів загальнобудівельного призначення. В загальному випадку проведені дослідження показали, що введення добавки призводить до подовження строків тужавлення та зниження ранньої та марочної міцності цементів (табл.2). Так, при вмісті ВХ у кількості 10 % в складі ПЦ І-500 спостерігається подовження строків тужавлення та зниження активності цементу порівняно з системою без добавки. Зі збільшення вмісту добавки до 20 % рання та марочна міцність в'язучого помітно знижується і після 2 діб тверднення становить 10 МПа, після 28 діб 22 МПа. При максимальному вмісті добавки (30 %) міцність цементу на 28 добу зменшується до 19 МПа.

Аналогічні результати спостерігаються і при введенні добавки до складів ПЦ ІІ/А-Ш-400 та ШПЦ ІІІ/А-400 (табл.2). Зі збільшенням вмісту добавки відмічається подовження строків тужавлення та зниження активності в'язучих композицій. Присутність ВХ в складі цементу негативно впливає і на його міцність після ТВО порівняно з контрольним складом: після 2 діб тверднення міцність на стиск становить 24 МПа; міцність контрольного складу: 2 доби – 21 МПа, 28 діб – 43 МПа.

Наступним етапом досліджень було визначення впливу добавки ВХ на формування властивостей шлаколужного цементу при зміні виду лужного компонента ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  та  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). В загальному випадку проведені дослідження показали, що введення ВХ до складу шлаколужного цементу дозволяє подовжити строки тужавлення та забезпечити міцність в'язучих композицій на рівні контрольного складу.

Таблиця 2 – Характеристики цементного каменю з використанням ВХ

Склад, %		Початок тужавлення, хв	В/Ц	Р/К	Міцність на стиск, МПа, після тверднення, у віці, діб			
Цемент	ВХ				2	7	28	ТВО
На основі ПЦ I-500								
100	-	85	0,4	115	28,4	39,8	49,2	39,1
90	10	95	0,41	115	25,5	32,1	43,4	33,4
80	20	110	0,42	119	21,2	28,6	39,1	27,5
70	30	125	0,43	118	14,5	25,2	36,4	24,5
На основі ПЦ II/A-III-400								
100	-	115	0,37	114	16,4	29,5	41,4	30,6
90	10	120	0,375	115	14,5	25,6	37,3	27,1
80	20	130	0,38	112	10,2	20,2	34,1	22,4
На основі ШПЦ III/A-400								
100	-	185	0,39	113	10,2	28,1	42,3	28,9
90	10	185	0,39	114	8,3	26,1	38,8	26,5
80	20	190	0,39	114	5,4	18,2	32,2	23,3

Так, введення добавки в діапазоні від 10 до 30 % подовжує початок тужавлення від 55 до 70 хв. та забезпечує отримання ранньої та марочної міцності цементу на рівні контрольного складу (рис.1). Після 2 діб тверднення міцність на стиск цементного каменю з добавкою ВХ становила 17,6...18,6 МПа, після 28 діб – 39,3...41,7 МПа. Для порівняння міцність на стиск контрольного складу: після 2 діб тверднення – 18,3 МПа, після 28 діб – 41,4 МПа.

Аналогічні результати досліджень спостерігаються і при зміні лужного компоненту в цементі (рис.2).

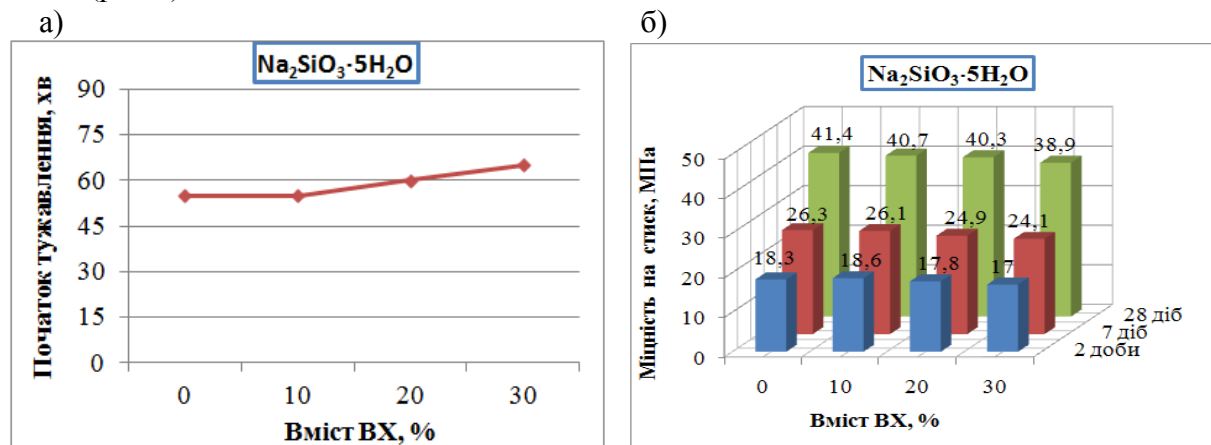


Рис. 1. Зміна початку тужавлення (а) та кінетика набору міцності (б) шлаколузного цементного каменю (лужний компонент –  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – у кількості 6 % від маси цементу), що вміщує добавку у вигляді ВХ

Таким чином за результатами досліджень показано, що використання добавки ВХ в складі цементів загальнобудівельного призначення призводить до зниження їх ранньої та марочної міцності, що унеможливує використання ВХ в якості активної мінеральної добавки. В той час як введення добавки ВХ до складу шлаколузного цементу забезпечує отримання міцнісних показників лужних в'язучих композицій на рівні контрольного складу, за рахунок здатності ВХ приймати участь в процесі структуроутворення шлаколузного цементного каменю [10].

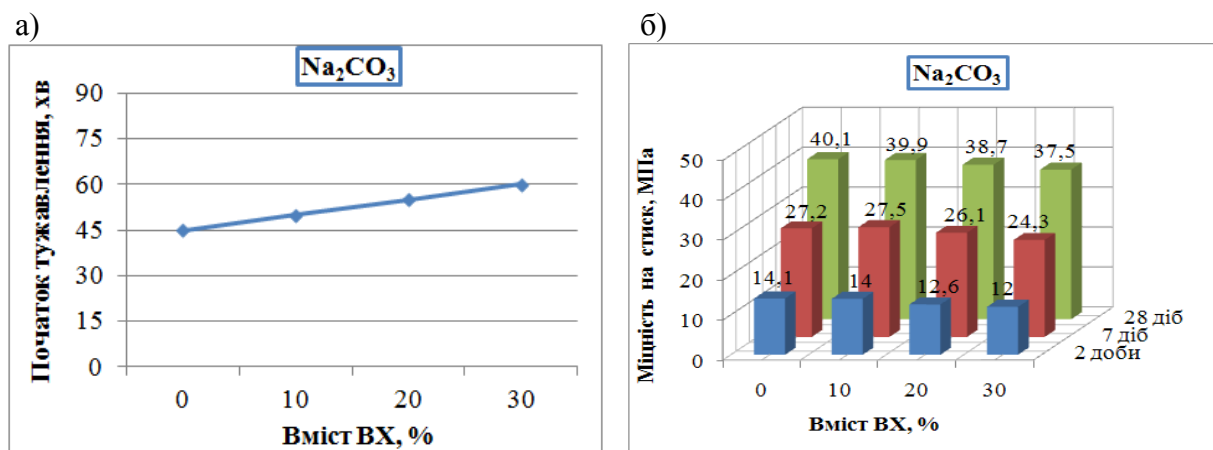


Рис. 2. Зміна початку тужавлення (а) та кінетика набору міцності (б) шлаколужного цементного каменю (лужний компонент –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – у кількості 5 % від маси цементу), що вміщує добавку у вигляді ВХ

В подальшому проведено дослідження фізико-механічних характеристик бетону на основі шлаколужного цементу з використанням відходу флотації золотовмісної руди, як в якості компоненту в шлаколужному цементі, так і в якості дрібного заповнювача в складі бетону. Склади шлаколужного цементу, які використано при проведенні досліджень наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Склади шлаколужного цементу

№ складу цементу	Співвідношення компонентів в цементі
1	100 % шлак, 6 % $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0,8 % ЛСТ
2	80 % шлак, 20 % ВХ, 6 % $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0,8 % ЛСТ
3	70 % шлак, 30 % ВХ, 6 % $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0,8 % ЛСТ

Примітка – вміст лужного компоненту та ЛСТ приймається понад 100 % від суми алюмосилікатних компонентів

В результаті досліджень виявлено, що вміст ВХ в складі шлаколужного цементу в загальному випадку не погіршує основні фізико-механічні характеристики бетону (табл. 4, рис. 3, 4).

Кінетику набору міцності бетонів на основі шлаколужного цементу з використанням ВХ представлено в табл. 4. Так, використання ВХ в складі шлаколужного цементу забезпечує високу міцність бетону на стиск, як через 3 доби (14 МПа – на цементі складу № 2; 13,2 МПа – на цементі складу № 3), так і через 28 діб тверднення (34,9 МПа – на цементі складу № 2; 33,6 МПа – на цементі складу № 1) на рівні контрольного складу (№ 1). Однак, при заміні частини дрібного заповнювача на ВХ, міцність бетону помітно знижується. Для забезпечення високої міцності бетону оптимальний вміст ВХ в якості дрібного заповнювача становить  $\leq 15$  %. Зі збільшення вмісту ВХ до 20...30 %, міцність бетону знижується.

Дослідження водопоглинання та капілярної пористості бетону свідчать, що використання ВХ в шлаколужному цементі в кількості 20 % забезпечує зменшення водопоглинання та об'єм відкритої капілярної пористості бетону (рис. 3). Показники водопоглинання зменшуються з 3,1 % до 2,8 % та пористості з 7,4 % до 6,7 %, відповідно, в порівнянні з контрольним складом. Це дає можливість отримати щільну структуру бетону зі збереженими функціональними властивостями. Зі збільшенням вмісту ВХ в шлаколужного цементі до 30 % спостерігається збереження фізичних властивостей бетону на рівні контрольного складу.

Таблиця 4 – Властивості досліджуваних складів бетону

№ п/п	Позначення цементу по табл. 3	Витрата матеріалів на 1м <sup>3</sup> , кг					Границя міцності на стиск, МПа, у віці, діб				
		Цемент	Пісок	ВХ	Щебінь	Вода	3	7	28		
1	1	350	710	-	1180	150	13,5	24,7	34,0		
2	2					150	14,0	23,5	34,9		
3	3					152	13,2	23,9	33,5		
4	2					640	70	152	12,3	24,5	34,3
5						600	110	155	11,2	22,1	32,9
6						570	140	160	10,1	21,8	30,0
7						540	170	169	8,3	17,2	27,1
8						510	210	178	5,2	13,5	24,1

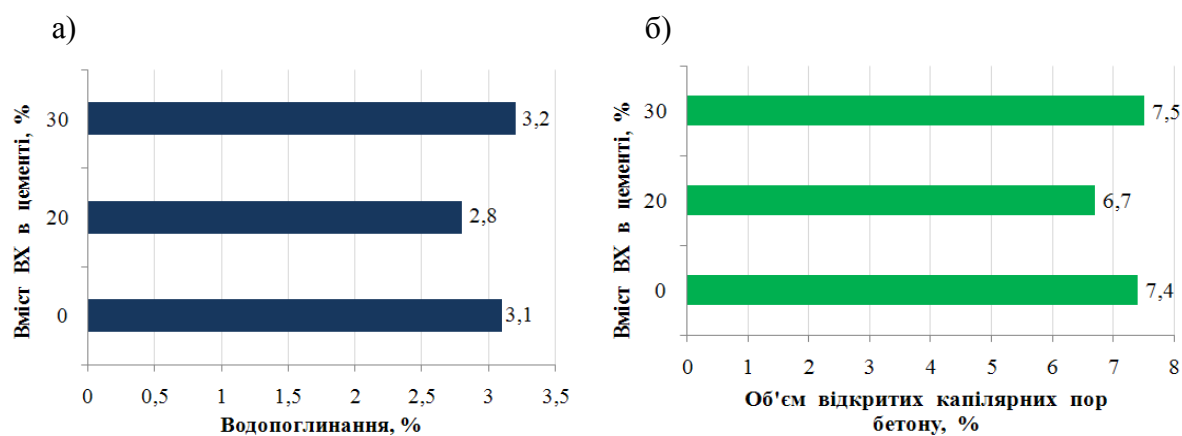


Рис. 3. Водопоглинання (а) та об'єм відкритих капілярних пор бетону (б), залежно від вмісту ВХ в цементі, % (по табл. 3)

Слід зазначити, що використання ВХ до 15 % в якості дрібного заповнювача призводить до збільшення водопоглинання та відкритої капілярної пористості бетону (рис. 4) до 3,1 % і 7,6 % відповідно, в порівнянні з контрольним складом – водопоглинання (2,8 %), об'єм відкритих капілярних пор (6,7 %). При підвищенні вмісту ВХ до 30 %, ефективність використання ВХ в якості дрібного заповнювача знижується, що супроводжується погіршення фізичних властивостей матеріалу – підвищення водопоглинання до 4,4 % та об'єму відкритих капілярних пор до 12,9 %.

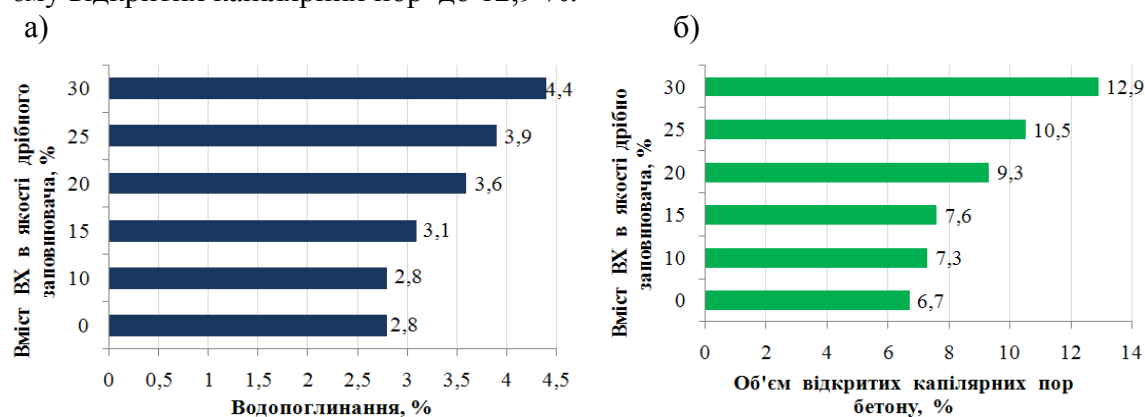


Рис. 4. Водопоглинання (а) та об'єм відкритих капілярних пор бетону (б), залежно від вмісту ВХ в якості дрібного заповнювача в складі бетону, % (по табл. 4)

## Висновки.

1. Виявлено, що введення добавки ВХ до складу цементів загальнобудівельного призначення впливає на зниження їх ранньої та марочної міцності, що унеможливорює використання ВХ в якості активної мінеральної добавки. В той час, як введення добавки ВХ до складу шлаколужного цементу забезпечує отримання міцнісних показників лужних в'язучих композицій на рівні контрольного складу.

2. Розроблено та оптимізовано склади шлаколужного цементу з вмістом відвальних хвостів флотаційного збагачення золотовмісних руд в діапазоні 10...30 %, які за дослідженими властивостями відповідають вимогам ДСТУ Б.В.2.7-181:2009 і відносяться до лужних цементів марок М400.

3. Отримано бетони на основі розроблених шлаколужних цементів з вмістом відвальних хвостів флотаційного збагачення золотовмісних руд, які характеризуються високою ранньою та марочною міцністю, а також низькими показниками водопоглинання та об'єму відкритої капілярної пористості бетону.

## Література

1. Використання техногенних продуктів у будівництві: навч. посіб. / [Л. Й. Дворкін, К. К. Пушкарьова, О. Л. Дворкін, М. О. Кочевих, М. А. Мохорт, М. П. Безсмертний] // Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування, Київський національний університет будівництва і архітектури. – Рівне: НУВГП, 2009. – 339 с.

2. Варшал Б.Г. Использование алюмокремнеземистых отходов для производства отделочных материалов / Варшал Б.Г., Федорова Р.А., Мирских Л.Л. // Стекло и керамика, Москва. – 1982. – №3. – С. 20-25.

3. Гончар В.И. Высокопрочные шлакощелочные бетоны на отходах горнорудной промышленности: автореф. дис. канд. техн. наук.: 05.23.05 / Гончар Владимир Иванович. Криворожский горнорудный институт. – Кривой Рог, 1984. – 20 с.

4. Лесовик В.С. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород / В.С. Лесовик, В.В. Строкова, А.Н. Кривенкова, Е.И. Ходыкин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2009. – № 1. – С. 25–27.

5. Никифорова Н.А. Перспективы использования отходов горно-обогатительных комбинатов в производстве тяжелых бетонов / Н.А. Никифорова // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2010. – Вип. 33. – С. 185–190.

6. Смирнов В. О. Флотаційні методи збагачення корисних копалин / В.О. Смирнов, В.С. Білецький // Східний видавничий дім. – Донецьк, 2010. – 496 с.

7. ДСТУ Б В.2.7-46:2010. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. – К.: Мінрегіон України, 2011. – 20 с.

8. ДСТУ Б В. 2.7. 181:2009. Цементи лужні. Технічні умови. – К.: Мінрегіон України, 2009. – 14 с.

9. Krivenko P. Influence of alkali activation on the structure formation and properties of blastfurnace cement / P. Krivenko, O. Petropavloskii, M. Mokhort, V. Pushkar. / Non-Traditional cement&Concrete III. Proc. of the Intern. Symp. Brno University of Technology, Brno June 10-12, 2008. – Pp. 381-388.

10. Гоц В.І. Особливості структуроутворення шлаколужного цементу з використанням слюдовмісних побічних продуктів гірничо-добувної промисловості / В.І. Гоц, О.В. Ластівка, Є.В. Волинська, О.В. Шимко / Вісник ОДАБА. – 2016. – № 1. – С. 25–27.