

УДК 691.5

*Гоц В.І., доктор технічних наук, професор,  
Рунова Р.Ф доктор технічних наук, професор.,  
Руденко І.І., кандидат технічних наук, ст. наук. співр.,  
Ластівка О.В., аспірант  
Науково-дослідний інститут в'язучих речовин  
і матеріалів ім. В.Д. Глуховського Київського  
національного університету будівництва і архітектури,  
Повітрофлотський пр-т, 31, 03680, Київ, Україна,  
тел. +38 044 245 48 30, e-mail: ptica\_ua@mail.ru*

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ДІЇ ПЛАСТИФІКАТОРІВ В БЕТОНАХ НА ОСНОВІ ЛУЖНОГО ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ

В статті розглянуто ефективність дії пластифікаторів з різною природою основної діючої речовини в бетонах на основі лужного шлакопортландцементу в залежності від вмісту шлакової складової, виду і вмісту лужного компоненту

**Ключові слова:** пластифікатори, бетон, лужний шлакопортландцемент, лужний компонент

### Вступ

У сучасному будівництві бетон є одним з основних конструкційних матеріалів, об'єм виробництва якого постійно зростає. Бетон ХХІ століття - це, в першу чергу, багатоконпонентний композиційний матеріал, склад якого, на відміну від традиційного бетону, представлений не тільки цементом, піском, щебенем і водою, але також хімічними модифікаторами поліфункціонального призначення та мікронаповнювачами різного мінерального складу і дисперсності [1]. Існує широкий вибір технологічних прийомів, які дозволяють підвищити якість, довговічність і економічність бетонів. Перспективним і ефективним засобом поліпшення технологічних характеристик бетонних сумішей і підвищення фізико-механічних властивостей бетонів з одночасним зниженням впливу енергетичних чинників на процес виконання будівельних робіт - є використання хімічних добавок різного функціонального призначення [2].

Використання лужних цементів є перспективним з огляду на те, що лужні бетони у порівнянні з бетонами на основі цементів загальнобудівельного призначення характеризуються підвищеними експлуатаційними характеристиками і значним подовженням терміну їх забезпечення (довговічністю) завдяки формуванню в цементному камені гідратних новоутворень, в складі яких переважають низькоосновні та рентгеноаморфні гідроалюмосилікатні фази [3].

Однак існуючі технічні і технологічні особливості композиційної побудови лужних цементів не дозволяють однозначно, з використанням відомих методів і добавок, управляти технологічними характеристиками лужних бетонних сумішей, що скорочує область їх застосування [4]. Основним відкритим питанням модифікації властивостей лужних бетонів залишається питання сумісності сполук лужних металів з хімічними добавками, в першу чергу - з пластифікуючими добавками, в т.ч. комплексними. Ефективність таких добавок визначається сумісною дією компонентів і забезпечується не лише позитивним впливом складових, але й відсутністю негативного впливу компонентів одного на інший.

Серед лужних цементів особливе місце за діапазоном вмісту доменного гранульованого шлаку – від 36 до 89% - займає лужний шлакопортландцемент [5], що визначає поєднання «клинкерного» і «шлакового» типу його гідратації [6]. Який з типів буде переважати залежить від складу цементу, виду і витрати лужного компоненту, а також від технології виробництва цементу.

**Метою** даної роботи є визначення ефективності дії пластифікаторів з різною природою основної діючої речовини в бетонах на основі лужного шлакопортландцементу в залежності від

вмісту шлакової складової, виду і вмісту лужного компоненту.

### Матеріали і методи досліджень

Оптимізацію використаних складів лужного шлакопортландцементу (ЛЦЕМ IV-400 згідно ДСТУ Б В.2.7-181) попередньо виконано за допомогою реалізації двофакторного методу планування експерименту (табл. 1). Питома поверхня цементу складала  $S_{\text{пит}} = 4500 \text{ см}^2/\text{г}$  (за приладом Блейна).

Таблиця 1

Склади лужного шлакопортландцементу

№ складу цементу ЛЦЕМ IV-400	Співвідношення компонентів в цементі
1	50 % шлак, 50% клінкер, 2% $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 1% ЛСТ
2	50 % шлак, 50% клінкер, 3% $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ , 1% ЛСТ
3	69 % шлак, 31% клінкер, 2,5% $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 1% ЛСТ
4	69 % шлак, 31% клінкер, 3,5% $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ , 1% ЛСТ
5	88 % шлак, 12% клінкер, 3% $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 1% ЛСТ

В якості складових цементу було використано портландцементний клінкер виробництва Миколаївського цементного заводу, доменний гранульований шлак виробництва ОАО «ММК ім. Ілліча» ( $M_0=1,1$ ). В ролі лужних компонентів цементу використано технічну кальциновану соду ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) та п'ятиводневий метасилікат натрію ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ ). Введення лігносульфонату натрію (ЛСТ) до складу цементу прийнято обов'язковим при його виготовленні за технологію «все в одному» для забезпечення задовільних термінів тужавлення і активності.

В ролі модифікуючих добавок, що формують разом з ЛСТ комплексну добавку (КД), використано: «Dynamon SR-2» (виробник фірма «Марей») – на основі поліакрилатних ефірів (тип «ПА»), Stachement 2572 (виробник фірма «Stachema») – на основі полікарбоксилатних ефірів (тип «ПК»), «Mapetard SD 2000» (виробник фірма «Марей») – на основі глюконату натрію ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{NaO}_7$ ), поліетиленгліколь ( $\text{HOCH}_2(\text{CH}_2\text{OCH}_2)_n\text{CH}_2\text{OH}$ ). По суті використано добавки на основі поверхнево-активних речовин (ПАР) принципово різної природи, яка обмежена трьома типами: 1 - на основі складних ефірів (типи «ПА» і «ПК»); 2 – на основі солі слабкої органічної кислоти і лужного металу (глюконат натрію); 3 – простий ефір (поліетиленгліколь), що за природою належить до поліспиртів (органічні сполуки, молекули яких вміщують більше одної гідроксильної групи  $\text{OH}$ ).

Вказані добавки використовували у вигляді розчинів і вводили до бетонних сумішей з водою замішування в кількості 1,5% від маси цементу. У відповідності з вимогами ДСТУ Б.В 2.7-171:2008 прийнято композиційний склад бетону: цемент -  $350 \text{ кг}/\text{м}^3$ , кварцовий пісок -  $740 \text{ кг}/\text{м}^3$ , гранітний щебінь фракції 5...10 мм –  $330 \text{ кг}/\text{м}^3$  і фракції 10...20 мм –  $780 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

За критерії ефективності добавок прийнято найбільш значимі характеристики для монолітного будівництва: рухомість (осадку конуса) бетонних сумішей, збереження рухомості (консистенції) впродовж 3 год після замішування при температурі  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  (життєздатність бетонних сумішей), міцність бетону на стиск після тверднення впродовж 3, 7 і 28 діб в нормальних умовах.

### Результати досліджень

Добавки типу 1. Результати досліджень свідчать про те, що добавка на основі глюконату натрію («Mapetard SD 2000») в комплексі з ЛСТ, який є обов'язковим компонентом для складів лужного шлакопортландцементу, в бетонних сумішах на основі ЛЦЕМ IV-400 характеризується пластифікуючим ефектом дії на рівні суперпластифікаторів (СП) - визначає збільшення початкової рухомості від марки P1 до P5 без зміни значення В/Ц (рис. 1). Найбільший ефект добавки на збільшення початкової консистенції спостерігається для бетонних сумішей на основі цементів, лужний компонент яких представлений кальцинованою содою (рис.1 а, в, д).

Крім того, забезпечується ефект збереження консистенції бетонних сумішей протягом 120 хв – зміна рухомості не перевищує однієї марки.

При використанні метасилікату натрію, консистенція бетонної суміші з зазначеною добавкою стає більш чутливою до складу цементу і характеризується підвищенням рухомості при збільшенні вмісту шлакової складової до певної межі та відповідному збільшенні вмісту лужного компонента в цементі (рис.1 б, г). Так, початкова рухомість бетонної суміші на основі цементу складу №2 (50% шлаку) характеризується маркою P2, на основі цементу складу №4 (69% шлаку) – маркою P4. Ефективність дії добавки як регулятора терміну зберігання консистенції (рухомості) бетонних сумішей знижується при використанні метасилікату натрію в ролі лужного компонента.

Введення добавки типу 1 визначає значне сповільнення тверднення бетонів на ранніх строках при використанні кальцінованої соди в ролі лужного компонента цементу (рис. 2). Так, наприклад, на 3 добу тверднення міцність на стиск бетону без добавок при використанні цементу складу №1 становить 15,1 МПа, при введенні добавки – 3,9 МПа.

При підвищенні вмісту шлакової складової і, відповідно, лужного компонента в цементі різниця між показниками ранньої міцності модифікованого бетону і контрольного складу скорочується. Це підтверджує підвищення ефективності дії добавки типу 1 в бетоні при збільшенні ролі «шлакового» типу тверднення над «клинкерним» при гідратації лужного шлакопортландцементу.

Після 28 діб тверднення міцність бетону модифікованого добавкою не менша міцності бетону контрольного складу у всьому діапазоні вмісту шлаку в цементі при використанні кальцінованої соди в ролі лужного компонента.

Спостерігається загальна тенденція до підвищення ранньої міцності бетонів контрольних складів на основі цементів, лужний компонент яких представлений метасилікатом натрію (рис. 2).

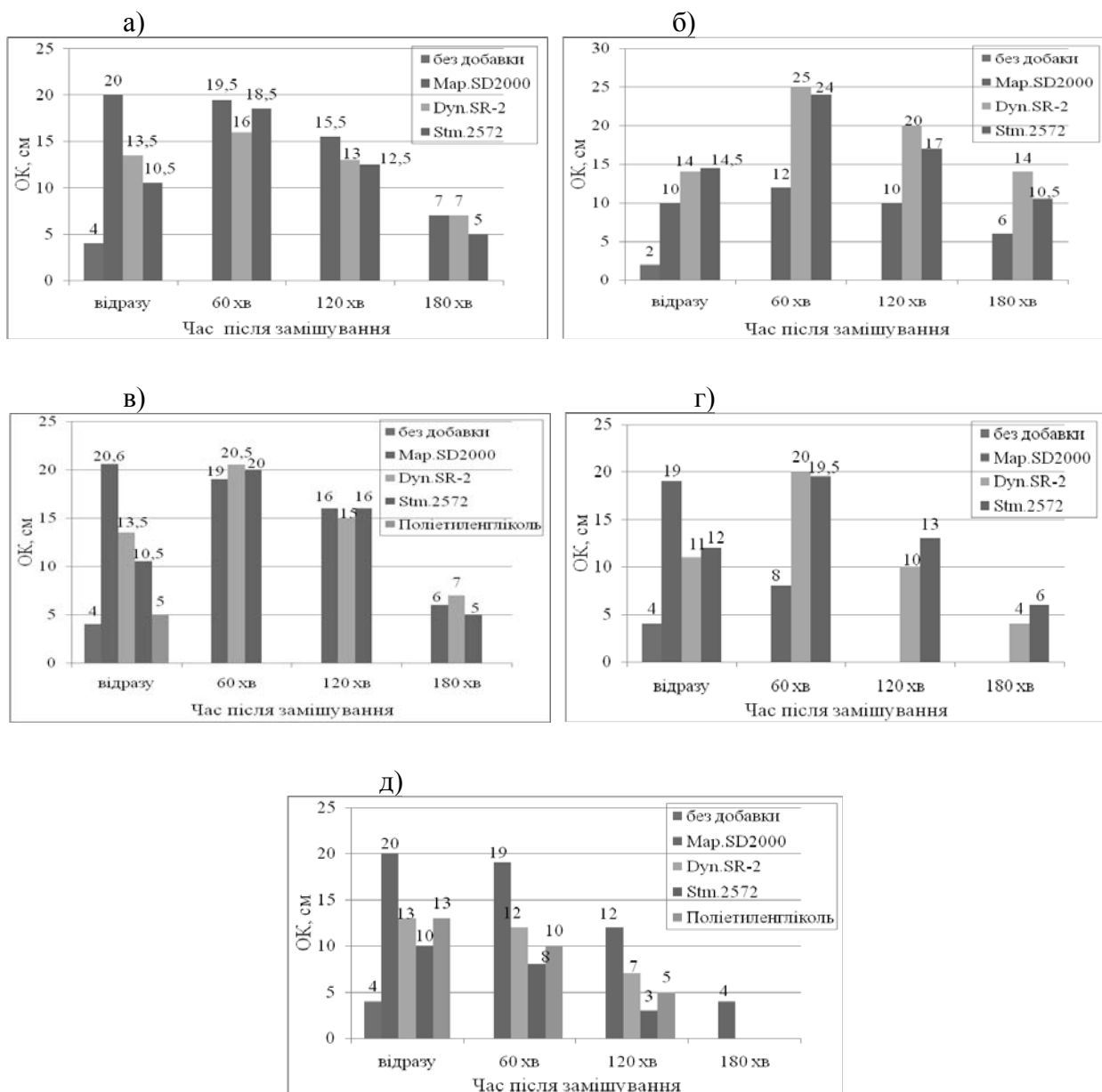
При використанні таких цементів (склади №2 і №4) міцність бетону модифікованого добавкою типу 1 не поступається показникам міцності контрольного складу як в марочному віці (28 діб), так і на ранніх строках тверднення.

Виявлені закономірності визначають можливість використання добавки типу 1 в складі КД як СП для бетонів на основі лужного шлакопортландцементу при використанні в ролі лужного компонента як карбонату, так і силікатів натрію. Отримані результати доповнюють роботу [7] і підтверджують її висновки.

*Добавки типу 2.* Добавки на основі складних ефірів (типи «ПА» і «ПК») проявляють менший пластифікуючий ефект дії в складі КД і дозволяють збільшити початкові значення рухомості бетонної суміші від марки P1 до P3 без зміни значень В/Ц (рис. 1). Однак, через певний час після замішування консистенція бетонної суміші з добавками зазначених типів різко зростає і досягає марок за рухомістю P4, P5 із забезпеченням відповідності консистенції початковим значенням протягом 180 хв (зміна рухомості не перевищує однієї марки). Така закономірність спостерігається для бетонних сумішей не залежно від виду використаних лужних компонентів в складах цементу з вмістом шлаку 50% і 69%. Крім того, добавки типу 2 визначають сповільнення тверднення бетонів на основі таких цементів впродовж перших 3 діб (рис. 2). До 7 діб тверднення міцність бетону з добавкою досягає, або стає не меншою міцності бетону контрольного складу.

Проте, із підвищенням вмісту шлаку 88% та відповідному збільшенні вмісту лужного компонента в цементі ефективність дії добавок типу 2 на консистенцію і життєздатність бетонної суміші різко знижується з суперпластифікуючих до рівня пластифікуючих (рис. 1). При цьому спостерігається від'ємний ефект дії добавок типу 2, що проявляється у сповільненні тверднення бетонів впродовж всього дослідженого строку (рис. 2). Це може бути пояснено підвищенням концентрації лужного компонента, що викликає прискорення гідролізу складних ефірів в лужному середовищі і відповідне зниження ефективності дії добавок в бетонній суміші.

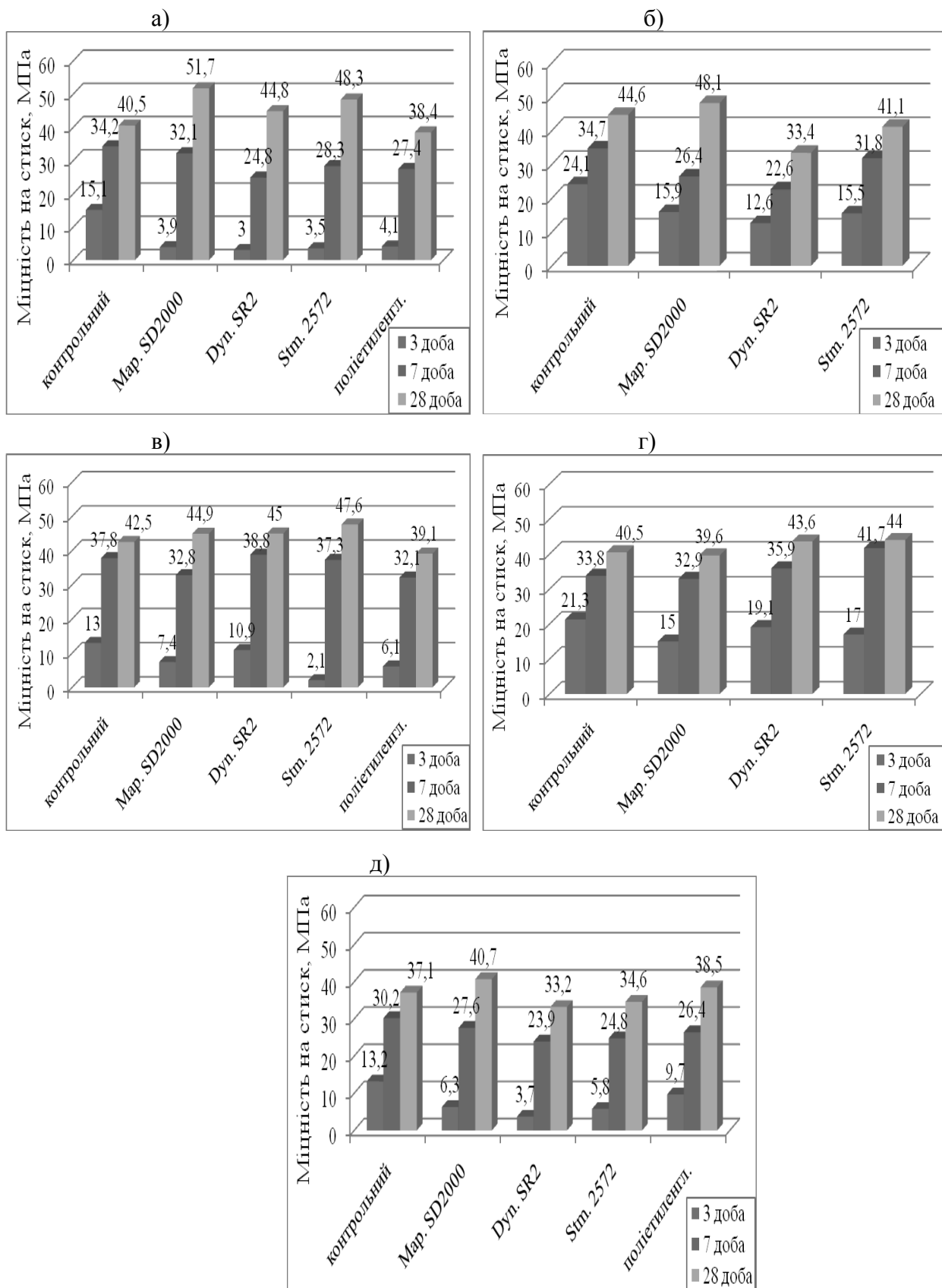
*Добавки типу 3.* На противагу до складних ефірів, ефективність дії простого ефіру (поліспирту), як пластифікуючої добавки для бетону в складі КД, підвищується із збільшенням вмісту шлаку і лужного компоненту в цементі, тобто пропорційно підвищенню ролі «шлакового» типу тверднення над «клинкерним» при його гідратації. Так, при вмісті 88% шлаку і, відповідно, 3% кальцинованої соди в цементі, модифікація бетону добавкою поліетиленгліколю в складі КД визначає збільшення рухомості бетонної суміші від марки Р1 до Р3 без зміни значень В/Ц і збереження вказаної марки протягом 60 хв (рис. 1). Виявлений ефект пояснюється більшою стійкістю простих ефірів до дії лугів у порівнянні з складними. Крім того, від'ємний ефект дії зазначеної добавки в складі КД, що полягає у сповільненні тверднення бетонів, зменшується на ранніх строках і зникає в проектному віці при збільшенні вмісту шлаку в цементі в розглянутому діапазоні (рис. 2).



**Рисунок 1.** Залежність рухомості і життєздатності бетонної суміші від хімічної добавки і складу цементу (по табл. 1):

а) №1: 50 % шлаку, 50% клинкеру, 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; б) №2: 50 % шлаку, 50% клинкеру, 3%  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ ; в) №3: 69 % шлаку, 31% клинкеру, 2,5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; г) №4: 69 % шлаку, 31% клинкеру, 3,5%  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ ; д) №5: 88 % шлаку, 12% клинкеру, 3%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

## БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА



**Рисунок 2.** Зміна міцності на стиск бетону від хімічної добавки і складу цементу (по табл. 1): а) №1: 50 % шлаку, 50% клінкеру, 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; б) №2: 50 % шлаку, 50% клінкеру, 3%  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ ; в) №3: 69 % шлаку, 31% клінкеру, 2,5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; г) №4: 69 % шлаку, 31% клінкеру, 3,5%  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ ; д) №5: 88 % шлаку, 12% клінкеру, 3%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

**Висновки:**

1. За впливом на комплекс технологічних властивостей бетонних сумішей і експлуатаційних характеристик бетонів для монолітного будівництва виявлено, що збільшення вмісту шлакової складової лужного шлакопортландцементу і, відповідно, вмісту лужного компонента визначає зменшення ефективності дії пластифікаторів в комплексі з ЛСТ в ряду: сіль слабкої органічної кислоти і лужного металу (тип 1) > прості ефіри (поліспирти) (тип 3) > складні ефіри (тип 2). Місце в ряду визначається стійкістю молекулярної структури ПАР в лужному середовищі.

2. КД на основі добавки типу 1 для бетонів на основі лужного шлакопортландцементу можна класифікувати як СП, що дозволяє регулювати рухомість бетонної суміші і її збереженність при відсутності від'ємного ефекту дії на міцність бетону, в т.ч. на ранніх строках тверднення.

3. Доцільність використання КД на основі добавки типу 2 в бетонах на основі лужного шлакопортландцементу залежить від співвідношення складових в цементі. При мінімальному вмісті шлакової складової і, відповідно, низькій кількості лужного компонента в цементі, КД на основі добавки такого типу можна класифікувати як СП; збільшення вмісту шлакової складової в цементі, визначає зменшення ефективності дії добавки у складі КД, що проявляється у зниженні збереженності консистенції бетонної суміші та міцності бетону.

4. Ефективність дії добавки типу 3 в складі КД на комплекс технологічних властивостей бетонних сумішей і експлуатаційних характеристик бетонів на основі лужного шлакопортландцементу зростає пропорційно вмісту шлакової складової і відповідно, лужного компонента.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / Батраков В.Г. -- М.: Стройиздат, 1998. – 700 с.
2. Ушеров-Маршак А.В. Добавки в бетон // А.В. Ушеров-Маршак. – Харьков: Колорит, 2005. – 280 с.
3. Пушкарева Е.К., Гончар О.А., Бондаренко О.П. Принципы композиционного построения быстротвердеющих щелочных шлакопортландцементов / Строительное материаловедение – теория и практика. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Сборник трудов. 2007 – С. 192-195.
4. Пушкарьова К.К., Бондаренко О.П. Дослідження впливу різних типів пластифікуючих добавок на властивості лужного шлакопортландцементу, отриманого за різними технологіями / Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса «Зовнішпекламсервіс», 2011. – Вип.43. - С.260-265.
5. ДСТУ Б В.2.7-181:2009 Цементи лужні. Технічні умови.
6. Krivenko P., Petropavlovskii O., Mokhort N., Pushkar V. Influence of alkali activation on the structure formation and properties of blastfurnace cements / Proceed. 3-d Intern. Symposium “Non-traditional cement&concrete”. – Brno, 2008. – pp. 381-388.
7. Пушкар В.І. Пластифіковані шлаколужні цементы та бетони на їх основі: Автореф. дис. канд. техн. наук. / КНУБА. - Київ, 2010. – 21 с.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ПЛАСТИФИКАТОРОВ В БЕТОНАХ НА ОСНОВЕ ЩЕЛОЧНОГО ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТА**

© Гоц В.И., Рунова Р.Ф., Руденко И.И., Ластивка А.В.

В статье рассмотрена эффективность действия пластификаторов с разной природой основного действующего вещества в бетонах на основе щелочного шлакопортландцемента в зависимости от содержания шлаковой составляющей, вида и содержания щелочного компонента

**Ключевые слова:** пластификаторы, бетон, щелочной шлакопортландцемент, щелочной компонент

**EFFECTIVENESS OF PLASTICIZERS IN CONCRETE BASED ON ALKALI SLAG PORTLAND CEMENT**

© Gotz V.I., Runova R.F., Rudenko I.I., Lastivka A.V.

In this article describes the influence of different plasticizers basic nature of the active substance in concretes based on alkali slag Portland cement depending on content of slag and alkaline component, are presented in the paper.

**Keywords:** plasticizers, concrete, alkali slag Portland cement, alkaline component