

УДК 691.3; 691.5

ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЛАСТИФІКУЮЧИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН У РОЗЧИНАХ І БЕТОНАХ НА ОСНОВІ ЛУЖНИХ ЦЕМЕНТІВ

Доктори техн. наук Р. Ф. Рунова, В. І. Гоц, кандидати техн. наук І. І. Руденко, О. М. Петропавловський, О. П. Констатиновський, О. В. Ластівка

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В РАСТВОРАХ И БЕТОНАХ НА ОСНОВЕ ЩЕЛОЧНЫХ ЦЕМЕНТОВ

Доктора техн. наук Р. Ф. Рунова, В. И. Гоц, кандидаты техн. наук И. И. Руденко, О. Н. Петропавловский, А. П. Констатиновский, О. В. Ластивка

THE EFFICIENCY OF PLASTICIZING SURFACTANTS IN ALKALI-ACTIVATED CEMENT MORTARS AND CONCRETES

D. Sc. (Tech.) R. F. Runova, V. I. Gots, PhD (Tech.) I. I. Rudenko, O. M. Petropavlovskiy, O. P. Konstantynovskiy, O. V. Lastivka

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.182.2018.159703>

Роботу присвячено визначенню хімічної природи добавок пластифікуючої групи, ефективних для модифікації властивостей будівельних розчинів і бетонів на основі лужних цементів при збільшенні вмісту доменного гранульованого шлаку до 100 % і відповідного вмісту солей натрію. Показано підвищення ефективності добавок без складнофірних зв'язків у молекулярній структурі (лігносульфонат натрію, добавки на основі поліетиленгліколю та ациклічного поліаміну). Виявлені закономірності використано при розробленні складів анкерних сухих будівельних сумішей і товарних бетонних сумішей.

Ключові слова: лужний цемент, поверхнево-активна речовина, пластифікуюча добавка, будівельний розчин, бетон.

Работа посвящена определению химической природы добавок пластифицирующей группы, эффективных для модификации свойств строительных растворов и бетонов на основе щелочных цементов при увеличении содержания доменного гранулированного шлака до 100 % и соответствующего содержания солей натрия. Показано повышение эффективности добавок без сложноэфирных связей в молекулярной структуре (лигносульфонат натрия, добавки на основе полиэтиленгликоля и ациклического полиамины). Выявленные закономерности использованы при разработке составов анкерных сухих строительных смесей и товарных бетонных смесей.

Ключевые слова: щелочной цемент, поверхностно-активное вещество, пластифицирующая добавка, строительный раствор, бетон.

Application of alkali-activated cements (AAC) allows to provide high quality functional and durable mortars and concretes in the view of efficient application of raw materials and energy supplies. There are five types of AACs depending on their composition. Thus the basic factor of AAC composition change can be considered as part of granulated blast furnace slag (GBFS) that changing from 0 % to 100 % in aluminosilicate component of cement. Compounds of alkaline metals are considered as AAC structurization components, which contents depend on AAC type. Functionality of mortars and concretes is regulated by surfactants, which act as plasticizing

admixtures. However modification of AAC by admixtures has certain features connected with risk of molecular structure degradation in hydration medium of AAC due to alkaline hydrolysis (saponification). The emergence and speed of this process are determined first of all by AAC composition including nature (group) of alkaline component. The objective was to determine the chemical nature of plasticizers effective for property modification of mortars and concretes based on AACs with various content of GBFS (from 0 to 100 %) and appropriate alkaline component content. Stability of plasticizers' molecular structure in hydrated medium of AAC with different content of GBFS was investigated by means of infrared spectroscopy. It was shown that admixtures with ester bonds undergo of molecular structure degradation as a result of alkaline hydrolysis at increasing pH values that is caused by content of alkaline component and depends on the nature of alkaline component. Admixtures without ester bonds (sodium lignosulphonate, ones based on polyethylene glycol and acyclic polyamine) are characterized by stability of molecule regardless of alkaline component content. The effective admixtures were used in dry mixes for anchoring (consistency of mortar 150 mm by Vicat cone; 1 d tensile strength in bending / compressive strength of mortar = 6,6 / 30,6 MPa) and in ready-mixed concretes (consistency class changed from S1 to S3, S4 with consistency safety during 60 min; 3 d compressive strength of concrete was not less than the reference one without admixtures).

Keywords: alkali-activated cement, surfactant, plasticizing admixture, mortar, concrete.

Вступ. Використання лужних (лужно-активованих) цементів відповідає концепції сталого розвитку людства і тенденціям сучасного будівництва в частині ефективного використання сировини та енергоресурсів при забезпеченні високої якості, функціональності і довговічності матеріалів. Пріоритет у розробленні ЛЦ належить В. Д. Глуховському [1, 2]. Заснована ним наукова школа під керівництвом П. В. Кривенка запропонувала принципи композиційної побудови ЛЦ [3, 4], у т. ч. із залученням попутних продуктів і відходів промисловості [5, 6]. Для практики застосування ЛЦ ці принципи реалізовано в національному стандарті України ДСТУ Б В.2.7-181:2009 [7]. Залежно від композиційного складу розрізняють п'ять типів ЛЦ (частка маси алюмосилікатних компонентів): I – гранульований доменний шлак (ГДШ) (90-100), II – портландцементний клінкер (100), III – золавиносу або базальт (36-80), IV – ГДШ (36-89), V – сумарно ГДШ і золавиносу (90-95). Отже, основним чинником зміни композиційного складу ЛЦ можна вважати вміст ГДШ, який змінюється в діапазоні від 0 % (тип II) до 100 % (тип I) у складі алюмосилікатного компонента. Сполуки лужних металів

розглядаються в ЛЦ як структуроутворюючі компоненти, вміст яких залежить від типу цементу. Як необхідний інгредієнт для забезпечення задовільних строків тужавлення та активності до складу ЛЦ вводять лігносульфонат натрію (ЛСТ) [7, 8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування лужних цементів у сучасних бетонах і розчинах пов'язано з необхідністю використання хімічних добавок. Однак модифікація ЛЦ хімічними добавками має певні особливості, які визначаються в першу чергу ризиком деградації молекулярної структури добавок у гідратаційному середовищі лужних цементів внаслідок лужного гідролізу (омилення) [9, 10, 11]. Виникнення і швидкість протікання цього процесу визначається перш за все композиційним складом цементу, у т. ч. природою (групою) лужного компоненту [12].

У свою чергу ефективність дії поверхнево-активних речовин (ПАР) як хімічних добавок обумовлена їхньою поверхневою активністю і залежить від молекулярної маси і здатності до адсорбції на поверхні мінеральних частинок цементу.

У дослідженнях [13, 14, 15] показана сумісність ЛЦ з аліфатичними органічними

сполуками (поліспирти, поліефіри, оксигетильовані жирні спирти, солі карбонових кислот тощо) у якості ПАР з пластифікуючим ефектом дії. Відповідно ПАР можуть бути використані для зменшення вмісту води і поверхневого натягу порової рідини, що полегшує її міграцію в матеріалі. Відомо, що в такому випадку зменшуються напруження в поровому просторі, які є чинниками деформацій усадки [16]. У свою чергу усадка розглядається як один із критеріїв здатності цементних матеріалів до аутогенного самовідновлення [17]. Методи управління усадкою розчинів шляхом зміни складу ЛЦ розглянуто в роботі [18]. Необхідність забезпечення ефективного впливу пластифікуючих добавок як на дисперсійно-коагуляційну, так і на кристалізаційно-конденсаційну структуру бетонів і розчинів на основі ЛЦ вимагає обґрунтування принципів ознак ПАР.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою є обґрунтування ефективності пластифікаторів, представлених ПАР різних хімічних типів, у будівельних розчинах і бетонах при зміні композиційного складу ЛЦ.

Сировинні матеріали. У якості алюмосилікатних компонентів ЛЦ використано портландцементний клінкер (CaO – 66,15 %; SiO₂ – 22,61 %; Al₂O₃ – 5,29 %; Fe₂O₃ – 3,93 %; MgO – 0,84 %; Na₂O – 0,15 %; K₂O – 0,98 %; SO₃ – 0,50 %) і ГДШ (CaO – 47,30 %; SiO₂ – 39,00 %; Al₂O₃ – 5,90 %; Fe₂O₃ – 0,30 %; MgO – 5,82 %; MnO – 0,50 %; SO₃ – 1,50 %).

У якості лужних компонентів використано метасилікат натрію п'ятиводний Na₂SiO₃·5H₂O (МС) і соду кальциновану технічну Na₂CO₃ (СК).

У якості сповільнювача тужавлення ЛЦ використано напівводний гіпс CaSO₄·0,5H₂O (НПГ), густина 2,7 г/см³.

Використано добавки пластифікуючої групи: «JK-04PP» на основі полікарбоксилатних ефірів (тип ПК) виробництва «JIANKAI» (Китай);

лігносульфонат натрію технічний (ЛСТ) виробництва «Vorrespers» (Норвегія); «Melflux PP100F» на основі модифікованого поліетиленгліколю (ПЕГ-М) виробництва «SKW Polymers» (Німеччина); ПЕГ-400 на основі поліетиленгліколю (ПЕГ) виробництва «Dow Chemical» (Німеччина); «Triameen Y12D» на основі ациклічного поліаміну (АПМ) виробництва «AkzoNobel» (Нідерланди).

Процес дослідження. Робота виконувалась у два етапи. На першому етапі досліджено стабільність молекулярної структури добавок пластифікуючої групи в гідратаційному середовищі ЛЦ з різним вмістом ГДШ за допомогою інфрачервоної спектроскопії (ІЧС) на спектрофотометрі Specord 75 IR (Німеччина).

У дослідженнях використовували п'ять складів ЛЦ, які згідно з ДСТУ Б В.2.7-181 належать до трьох типів:

– склад 1: клінкер – 97,6 %, МС – 2,4 % (0,7 % по Na₂O) – тип II (лужний портландцемент, ЛПЦ);

– склад 2: клінкер – 67,0 %, ГДШ – 30,1 %, СК – 2,9 % (1,7 % по Na₂O), склад 3: клінкер – 66,7 %, ГДШ – 30,0 %, МС – 3,3 % (1,0 % по Na₂O) – тип IV (лужний шлакопортландцемент, ШПЦ);

– склад 4: ГДШ – 95,2 %, СК – 4,8 % (2,8 % по Na₂O), склад 5: ГДШ – 94,3 %, МС – 5,7 % (1,7 % по Na₂O) – тип I (шлаколужний цемент, ШЛЦ).

ЛЦ отримували шляхом сухого змішування компонентів у лабораторному лопатовому змішувачі «НОВАРТ». Питома поверхня цементів S_{пит} = 4500 см²/г. При помелі алюмосилікатних складових використано добавку у вигляді етилгідросилоксанового полімеру (0,04 %) для інтенсифікації помелу, запобігання сорбції вологи з повітря і збереження властивостей цементу.

Зразки (20x20x20 мм) для проб ІЧС були отримані з цементного тіста, отриманого змішуванням ЛЦ зазначених складів з додаванням пластифікуючої групи в кількості 10 % від маси ЛЦ при В/Ц = 0,4.

Отримані зразки тверділи протягом 7 діб у нормальних умовах (температура – 20 ± 2 °С, вологість 95 ± 5 %), після чого були висушені при температурі 40 °С до постійної маси та подрібнені до повного проходження проб через сито 0,08 мм.

На *другому етапі* розроблено склади сухих будівельних сумішей (СБС) і товарних бетонів на основі ЛЦ з використанням добавок, що характеризуються ефективністю.

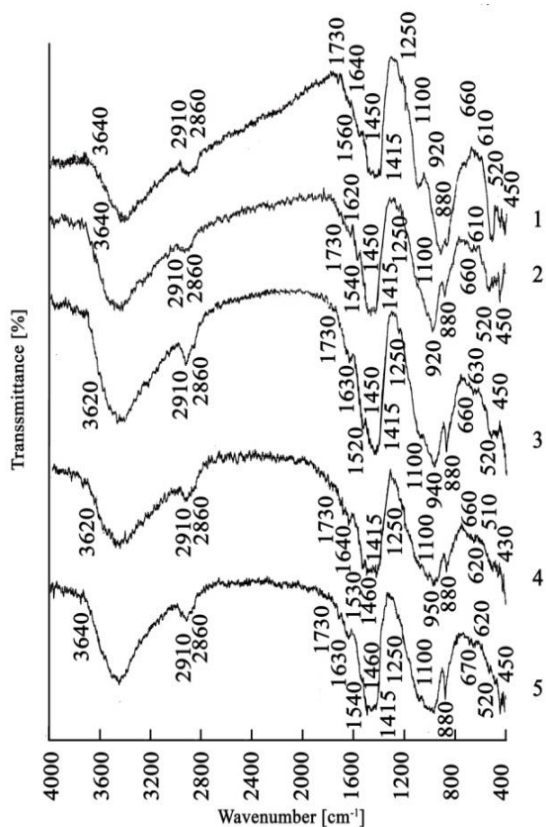
Клас консистенції бетонної суміші визначали за EN 12350-2:1999, міцність бетону – за EN 12390-3:2001. Розтічність розчинної суміші визначали за розпливом з кільця Віка (EN 196-3:2007), міцність анкерного розчину на стиск і на вигин – за

EN 12190:1999 і EN 196-1:2007 відповідно. Адгезію розчину визначали за EN 1542:1999.

Основна частина дослідження. На першому етапі досліджено зміни молекулярної будови ПАР різної хімічної природи в гідратаційному середовищі ЛЦ (рис. 1, 2, 3).

Затверділий камінь ЛЦ характеризується присутністю таких фаз (криві 1-5 на рис. 1, 2, 3): непрогідратовані силікати кальцію (450, 520, 870-880 cm^{-1}), гідросилікати кальцію (920-980, 3400-3450 cm^{-1}), хімічна зв'язана та адсорбційна вода гідросилікатів кальцію (3400-3450 cm^{-1}), молекулярна вода (1620-1650 cm^{-1}), гідроксид кальцію (3620-3660 cm^{-1}).

а



б

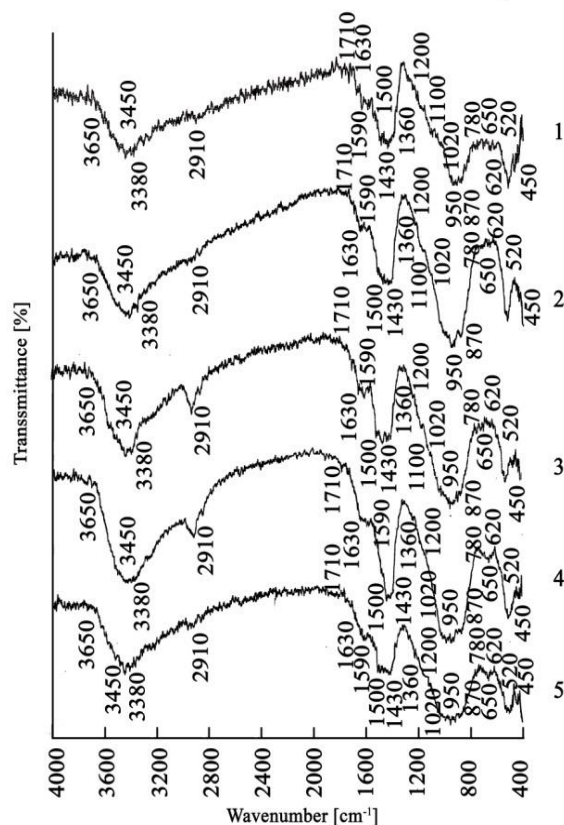
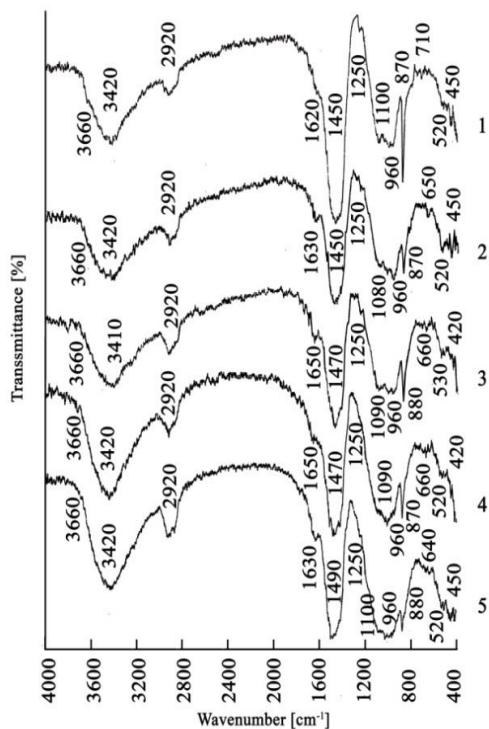


Рис. 1. ІЧ-спектри ПАР в середовищі ЛЦ: а – тип ПК; б – тип ЛСТ; 1 – ЛЦ складу 1; 2 – ЛЦ складу 2; 3 – ЛЦ складу 3; 4 – ЛЦ складу 4; 5 – ЛЦ складу 5

а



б

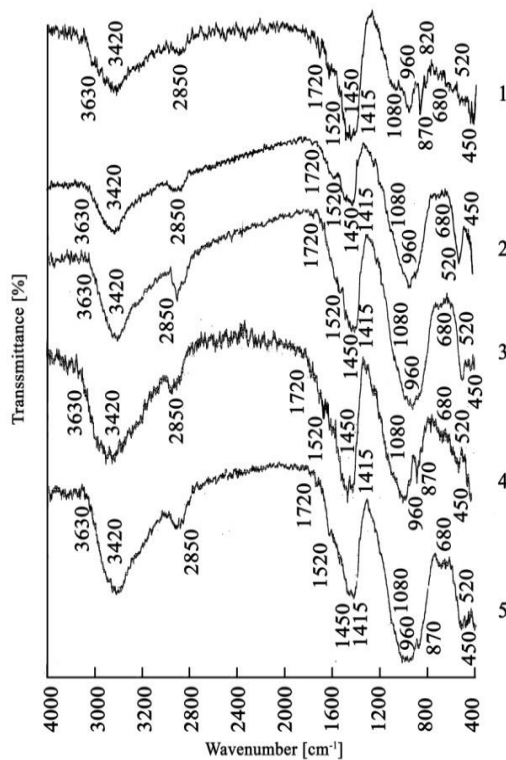


Рис. 2. ІЧ-спектри ПАР в середовищі ЛЦ: а – тип ПК; б – тип ЛСТ; в – тип ПЕГ; г – тип ПЕГ-М; 1 – ЛЦ складу 1; 2 – ЛЦ складу 2; 3 – ЛЦ складу 3; 4 – ЛЦ складу 4; 5 – ЛЦ складу 5

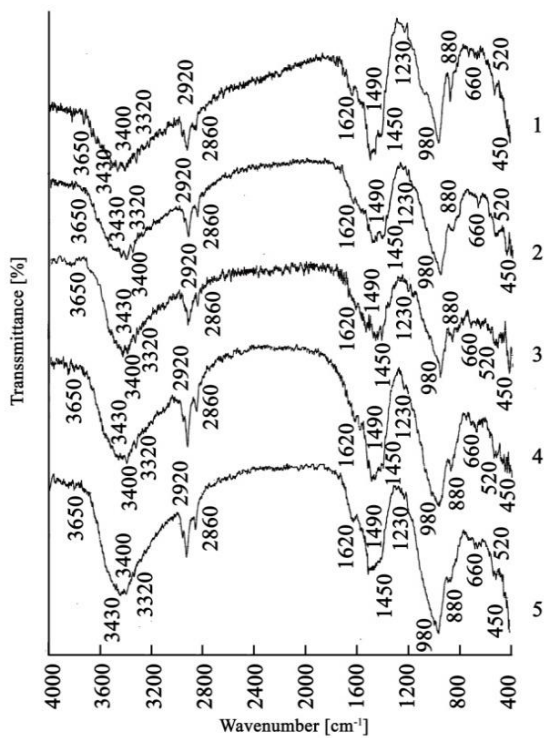


Рис. 3. ІЧ-спектри ПАР типу АПМ в середовищі ЛЦ: 1 – ЛЦ складу 1; 2 – ЛЦ складу 2; 3 – ЛЦ складу 3; 4 – ЛЦ складу 4; 5 – ЛЦ складу 5

За отриманими результатами, додавання ПАР типу ПК на кривих ІС (рис. 1,а) визначається ефектами при 1730 см^{-1} і 1100 см^{-1} , які відповідають групі $\text{C}=\text{O}$ складних ефірів і групі $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ($\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2$) простих ефірів. При гідратації ЛЦ добавка типу ПК зазнає змін у структурі внаслідок лужного гідролізу ефірних груп, у результаті чого відбувається формування карбоксилатних солей і відповідних простих ефірів [19]. Це підтверджується присутністю ефектів, відповідних карбоксилатним групам COO^- (1415 см^{-1} , $1520-1560\text{ см}^{-1}$). Однак гідроліз є частковим, про що свідчить ефект при 1730 см^{-1} на кривих 1-5. Збільшення в складі ЛЦ вмісту лужного компонента (по Na_2O) від 0,7 % (крива 1) до 1,7 % (крива 5), обумовлене збільшенням вмісту ГДШ, призводить до більшої деструкції добавки типу ПК внаслідок гідролізу, що підтверджує збільшення ефекту при 1415 , $1520-1560\text{ см}^{-1}$ і зменшення при 1730 і 1100 см^{-1} . Отже, у гідратаційному середовищі ЛЦ добавка типу ПК зазнає змін у структурі, при яких головний ланцюг, що включає карбоксилатні групи, адсорбується на поверхні часток алюмосилікатної складової цементу, а бічні ланцюги, що містять прості ефіри і відповідають за стеричний ефект дії, відриваються від головного ланцюга. Відповідно при збільшенні вмісту в складі ЛЦ лужного компонента (по Na_2O) від 0,7 (ЛЦ тип II) до 1,7 % (ЛЦ тип IV) пластифікуючий ефект добавки типу ПК значно зменшується. Також слід відзначити більшу деструкцію добавки в середовищі ЛЦ складу 5 (крива 5) порівняно зі складом 2 (крива 2) при використанні МС замість СК, навіть при однаковому вмісті лужного компонента в перерахунку на Na_2O – 1,7 %. Більшу дегградацію молекулярної структури добавки в присутності МС порівняно з СК можна пояснити більшим значенням показника рН – 12,6 і 11,3 відповідно. Отже, чинниками, від яких залежить стабільність молекулярної структури добавки типу ПК в

гідратаційному середовищі ЛЦ, є вміст і природа лужного компонента, що обумовлюють рН середовища.

Добавка ЛСТ, на відміну від типу ПК, у середовищі ЛЦ не зазнає змін у структурі при збільшенні вмісту лужного компонента, що підтверджується присутністю відповідних смуг поглинання на всіх кривих (рис. 1,б): 620 , 650 , 780 см^{-1} (CH_2 зв'язки); 660 , 1200 см^{-1} (групи SO_3); 1020 см^{-1} (групи OH^-); 1100 см^{-1} (групи спиртів OH); 1360 см^{-1} (групи CH_3); 1430 , 1500 , 1590 см^{-1} (заміщене ароматичне кільце лігніну); 1630 см^{-1} ($\text{C}=\text{C}$ зв'язки в бензольному кільці, карбонільні групи $\text{C}=\text{O}$ та карбоксильні групи COOH); 1710 см^{-1} (група ароматичних кислот $\text{C}=\text{O}$ та групи COOH); 2910 см^{-1} (CH_2 зв'язки); 3380 , 3450 см^{-1} ($\text{O}-\text{H}$ зв'язки в гідроксильних, фенольних, спиртових і карбоксильних групах). Отримані результати щодо стабільності молекулярної структури добавок типу ЛСТ в середовищі ЛЦ корелюють з результатами досліджень роботи [20].

Незалежно від вмісту лужного компонента структура добавки типу ПЕГ також не зазнає змін, характеристичні смуги поглинання якої присутні на всіх спектрах (рис. 2, а): 710 , 2920 см^{-1} (CH_2 зв'язки), 1100 см^{-1} (група простих ефірів $\text{C}-\text{O}-\text{C}$) і 3620 см^{-1} (групи OH^-). Відомо, що ПЕГ ($\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$) є неіоногенною ПАР і не характеризується самостійним диспергуючим ефектом дії. Однак ця органічна речовина працює як диспергатор при наданні йому можливості адсорбуватись на поверхні цементу шляхом прикріплення до карбоксильних груп ($-\text{COOH}$) молекул суперпластифікатора [21]. Даний шлях підвищення ступеня адсорбції пластифікуючих добавок на частинках цементу реалізовано в добавці типу ПЕГ-М (Melflux PP100F), яка є сополімером ПЕГ і акрилової кислоти. Добавки такої молекулярної структури забезпечують значно вищий пластифікуючий ефект дії, але у високолужному середовищі ЛЦ зазнають деструкції. За отриманими резуль-

татами (рис. 2, б), добавка типу ПЕГ-М в середовищі ЛЦ типу II (крива 1) зазнає незначних змін при відносно низькому вмісті лужного компонента, про що свідчить ефект при 1720 см^{-1} (складноефірні групи $\text{C}=\text{O}$). При цьому добавка зазнає часткового лужного гідролізу, що підтверджується присутністю на кривій смуг поглинання при 1415 і 1520 см^{-1} (карбоксільні групи). Збільшення вмісту лужного компонента (по Na_2O) від $0,7$ (крива 1) до $1,7\%$ (крива 5) призводить до більшої деструкції молекули ПАР внаслідок лужного гідролізу, про що свідчить зменшення ефекту складноефірних груп при 1720 см^{-1} і збільшення ефектів при 1415 і 1520 см^{-1} . Вплив на стабільність молекулярної структури добавки типу ПЕГ-М має також природа лужного компонента: при використанні МС деструкція добавки більша порівняно з СК.

У якості пластифікуючої добавки, яка характеризується стабільністю молекулярної структури у високолужному середовищі, використано додецилдіпропілентіамін ($(\text{CH}_2)_3\text{NH}_2\text{-RN-(CH}_2)_3\text{NH}_2$, де R – алкільний ланцюг) – ациклічний поліамін (тип АПМ), який є катіонактивною ПАР. На кривих ІЧС добавка такого типу не зазнає деструкції внаслідок гідролізу, що підтверджує присутність на всіх кривих (рис. 3) смуг поглинання при 1230 см^{-1} (C-N зв'язок, аліфатичні аміни), 1450 см^{-1} (CH_2 , CH_3), 1490 см^{-1} (C-H , ароматичні аміни), 1620 см^{-1} (N-H зв'язок, первинні аміни), 2860 і 2920 (CH_2 , CH_3), 3320 і 3430 (два зв'язки N-H , первинні аміни).

Отже ефективними добавками, які характеризуються стабільністю молекулярної структури в гідратаційному середовищі ЛЦ в усьому діапазоні зміни вмісту лужного компоненту, є ПАР типу ЛСТ, ПЕГ і АПМ. Добавки типу ПК і ПЕГ-М є ефективними при незначному вмісті лужного компонента, тобто $\sim 0,7\%$ по Na_2O (ЛЦ типу II). При збільшенні показника рН середовища, обумовленого вмістом і природою лужного компонента,

ефективність добавок зі складноефірними зв'язками значно зменшується внаслідок деструкції їхньої молекулярної структури (лужний гідроліз).

На другому етапі досліджень виявлені закономірності використано при розробленні складів анкерних СБС та товарних бетонних сумішей.

У якості основи СБС для анкерування використано ЛЦ типу II системи «клінкер–МС–напівводний гіпс», монолітного бетону – ЛЦ типу I і IV системи «клінкер–ГДШ–лужний компонент (МС, СК)–ЛСТ». Як обов'язковий компонент ЛЦ типів I і IV для забезпечення задовільних строків тужавлення та активності використано добавку ЛСТ в кількості $0,8\%$ маси алюмосилікатних складових.

Альтернативою двоводному гіпсу для регулювання строків тужавлення і підвищення фізико-механічних властивостей ЛЦ є добавка напівводного гіпсу [8, 22]. Вміст напівводного гіпсу в складі ЛЦ типу II становить $9,0$ і $6,5\%$ (понад 100% алюмосилікатних компонентів) для ЛЦ типів II і IV відповідно.

Добавка типу ПЕГ-М (Melflux PP100F) використана в якості водоредукуючої добавки в складі сухої будівельної суміші для анкерування на основі ЛЦ типу II. Розчини, модифіковані даною добавкою, характеризуються міцністю на розтяг при вигині / міцністю на стиск – $6,6/30,6$ МПа після 1 доби тверднення і адгезією $1,1$ МПа при розтічності розчинної суміші 150 мм з кільця Віка.

Добавки типу ПЕГ і АПМ були використані в складі товарного бетону на основі ЛЦ типів I і IV системи «клінкер–ГДШ–лужний компонент (МС, СК)–напівводний гіпс». Отримані комплекси «ЛСТ–ПЕГ» і «ЛСТ–АПМ» забезпечували зміну класу консистенції суміші від S1 до S3, S4 і збереження консистенції суміші протягом 60 хв. Міцність на стиск модифікованого бетону при цьому залишалась на рівні аналога без добавки.

Висновки. Хімічні добавки типу ПК і ПЕГ-М, що містять складноєфірні зв'язки, зазнають деструкції молекулярної структури внаслідок лужного гідролізу при збільшенні показника рН гідратаційного середовища ЛЦ, обумовленого вмістом лужного компонента в складі ЛЦ і природою лужного компонента. Добавки типу ЛСТ, ПЕГ і АПМ характеризуються стабільністю молекул незалежно від вмісту лужного компонента. Це обумовлює ефективність використання добавок на основі складних полієфірів (ПК і ПЕГ-М) в ЛЦ типу II (0 % ГДШ) з відносно низьким вмістом лужного компонента. При збільшенні вмісту лужного компонента відповідно до збільшення ГДШ в ЛЦ типів I і IV

ефективність добавок без складноєфірних зв'язків (ЛСТ, ПЕГ і АПМ) збільшується.

Використання отриманих закономірностей зміни ефективності пластифікуючих добавок залежно від композиційного складу лужних цементів є необхідним при розробленні рецептур бетонів і будівельних розчинів на їхній основі. Так, ЛЦ типу II при використанні добавки типу ПЕГ-М доцільно використовувати в якості основи бетонів і розчинів з інтенсивним набором міцності, зокрема анкерних розчинів. ЛЦ типів I і IV, модифіковані добавками типу ПЕГ і АПМ в комплексі з ЛСТ, є ефективною в'язучою речовиною в товарних бетонних сумішах для монолітного будівництва.

Список використаних джерел

1. Glukhovskiy, V. High strength slag-alkali cement [Text] / V. Glukhovskiy, G. Rostovskaya, G. Rumina // 7th Int. Congr. on the Chemistry of Cements. – Paris, 1980. – Vol. III. – P. 164-168.
2. Глуховский, В. Д. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны [Текст] / под общ. ред. В. Д. Глуховского. – К. : Вища школа, 1979. – 232 с.
3. Krivenko, P. Why alkaline activation – 60 years of the theory and practice of alkali-activated materials [Text] / P. Krivenko // Journal of Ceramic Science and Technology 8(3). – 2017. – P. 323-333.
4. The Development of Alkali-activated Cement Mixtures for Fast Rehabilitation and Strengthening of Concrete Structures [Text] / P. Krivenko, O. Petropavlovskii, H. Vozniuk, S. Lakusta // Procedia Engineering 195. – 2017. – P. 142-146.
5. Radiological characterization and evaluation of high volume bauxite residue alkali activated concretes [Text] / T. Croymans, W. Schroeyers, P. Krivenko, O. Kovalchuk, A. Pasko, M. Hult, G. Marissens, G. Lutter & S. Schreurs // Journal of Environmental Radioactivity 168. – 2017. – P. 21-29.
6. Development of alkali activated cements and concrete mixture design with high volumes of red mud [Text] / P. Krivenko, O. Kovalchuk, A. Pasko, T. Croymans, M. Hult, G. Lutter, N. Vandevenne, S. Schreurs & W. Schroeyers // Construction and Building Materials 151. – 2017. – P. 819-826.
7. ДСТУ Б В.2.7-181:2009: Лужні цементы. Технічні умови.
8. Ластівка, О. В. Модифіковані бетони на основі лужного шлакопортландцементу для монолітного будівництва [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / О. В. Ластівка. – К. : КНУБА, 2015. – 21 с.
9. Influence of D-sorbitol on the properties of binders to immobilize acid nuclear wastes [Text] / M. Collepardi, G. Grossi, Pellizon Birelli M., G. Ventura // 8th CANMET/ACI Int. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Sorrento (Italy). – 2006. – P. 525-531.

10. Palacios, M. Effect of superplasticizer and shrinkage-reducing admixtures on alkali-activated slag pastes and mortars [Text] / M. Palacios, F. Puertas // *Cement and Concrete Research*, 35. – 2005. – P. 1358-1367.
11. Efficiency of redispersible polymer powders in mortars for anchoring application based on alkali activated Portland cements [Text] / I. Rudenko, O. Konstantynovskiy, A. Kovalchuk, M. Nikolainko, D. Obremsky // *Key Engineering Materials*, Switzerland. – 2018. – Vol. 761. – P. 27-30.
12. Щелочные цементы [Текст]: монография / П. В. Кривенко, Р. Ф. Рунова, М. А. Саницкий, И. И. Руденко. – К. : ООО «Основа», 2015. – 412 с.
13. Potential of alkali activated portland cement-based dry mixes for anchoring application [Text] / P. Krivenko, R. Runova, I. Rudenko, O. Konstantynovskiy // *NTCC2014: International Conference on Non-Traditional Cement and Concrete*, Brno University of Technology. – 2014. – P. 123-126.
14. Efficiency of redispersible polymer powders in mortars for anchoring application based on alkali activated portland cements [Text] / I. Rudenko, O. Konstantynovskiy, A. Kovalchuk, M. Nikolainko, D. Obremsky // *Key Engineering Materials*. – Switzerland. – 2018. – Vol. 761. – P. 27–30.
15. Analysis of plasticizer effectiveness during alkaline cement structure formation [Text] / P. Krivenko, R. Runova, I. Rudenko, V. Skoryk, V. Omelchuk // *Eastern European journal of Enterprise Technologies* 4. – 2017. – P. 35-41.
16. Palacios, M. Effect of shrinkage-reducing admixtures on the properties of alkali-activated slag mortars and pastes [Text] / M. Palacios, F. Puertas // *Cem Concr Res* 37. - 2007. – P. 691–702.
17. Lv, Z. Overview or recent work on self-healing in cementitious materials [Text] / Z. Lv // *Materiales de Construccion*. – 2014. – 64 p.
18. Shrinkage behavior of alkali-activated slag cement pastes [Text] / V. Omelchuk, Y. Guang, R. Runova, I. Rudenko // *Key Engineering Materials*. – Switzerland. – 2018. – Vol. 761. – P. 45-48.
19. Palacios, M. Techniques and methods of characterization of admixtures for the concrete [Text] / M. Palacios, C. Sierra, F. Puertas // *Mater. Construcc.* 53 (269) (2003), P. 89-105.
20. Constructive properties of the concretes made with alkali-activated cements of new generation [Text] / P. V. Krivenko, O. N. Petropavlovskii, G. V. Vozniuk, V. I. Pushkar // *First Intern. Conf. on Advances of Chemically-activated Materials (CAM' 2010 - China)*, 2010, Jinan, Shandong, China. – P. 139-146.
21. Yamada, K. Basics Basics of analytical methods used for the investigation of interaction mechanism between cements and superplasticizers [Text] / K. Yamada // *Cement and Concrete Research* 41. – 2011. – P. 793-798.
22. Effect of calcium sulfate modifications on properties of alkaline cements [Text] / V. I. Gots, R. F. Runova, I. I. Rudenko, O. P. Konstantynovskiy, O. V. Lastivka // *19. Ibausil, Weimar*, 2015. – 1-1087-1-1094.

Рунова Раїса Федорівна, д-р техн. наук, професор кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (044) 245-48-43. E-mail: runova@i.ua.
Гоц Володимир Іванович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (044) 248-30-16.
E-mail: lubov.vynnyk@gmail.com.
Руденко Ігор Ігорович, канд. техн. наук, старш. наук. співроб. Науково-дослідного інституту в'язучих матеріалів ім. В. Д. Глуховського. Тел.: (044) 241-54-92. E-mail: igor.i.rudenko@gmail.com.
Петропавловський Олег Миколайович, канд. техн. наук, старш. наук. співр. Науково-дослідного інституту в'язучих матеріалів ім. В. Д. Глуховського. Тел.: (044) 241-54-44. E-mail: oleg.petropavlovskii@gmail.com.

Константиновський Олександр Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (044) 245-48-43.

E-mail: alexandrkp@gmail.com.

Ластівка Олесь Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (044) 245-48-43.

E-mail: oles.lastivka@gmail.com.

Рунова Раїса Федорівна, д-р техн. наук, професор кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (044) 245-48-43.

E-mail: runova@i.ua.

Гоц Володимир Іванович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури.

Тел.: (044) 248-30-16. E-mail: lubov.vynnyk@gmail.com.

Руденко Ігорь Ігоревич, канд. техн. наук, старш. науч. сотр. Научно-исследовательского института вяжущих материалов им. В. Д. Глуховского. Тел.: (044) 241-54-92. E-mail: igor.i.rudenko@gmail.com.

Петропавловський Олег Николаевич, канд. техн. наук, старш. науч. сотр. Научно-исследовательского института вяжущих материалов им. В. Д. Глуховского. Тел.: (044) 241-54-44. E-mail: oleg.petropavlovskii@gmail.com.

Константиновський Олександр Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури.

Тел.: (044) 245-48-43. E-mail: alexandrkp@gmail.com.

Ластівка Олесь Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (044) 245-48-43.

E-mail: oles.lastivka@gmail.com.

Runova Raisa Fedorivna, D. Sc. (Tech.), professor, Department of Technology of Building Constructions and Products (TBSP), Kyiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (044) 245-48-43. E-mail: runova@i.ua.

Gots Volodymyr Ivanovych, D. Sc. (Tech.), professor, Head of Department of Building Constructions and Products (TBSP), Kyiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (044) 248-30-16.

E-mail: lubov.vynnyk@gmail.com.

Rudenko Igor Igorevych, PhD (Tech.), senior scientist, Scientific Research Institute for Binders and Materials. Tel.: (044) 241-54-92. E-mail: igor.i.rudenko@gmail.com.

Petropavlovskiy Oleh Mykolaiovych, PhD (Tech.), senior scientist, Scientific Research Institute for Binders and Materials. Tel.: (044) 241-54-44. E-mail: oleg.petropavlovskii@gmail.com.

Konstantynovskiy Oleksandr Petrovych, PhD (Tech.), associate professor, Department of Technology of Building Constructions and Products (TBSP), Kyiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (044) 245-48-43.

E-mail: alexandrkp@gmail.com.

Lastivka Oles' Vasyliovych, PhD (Tech.), associate professor, Department of Technology of Building Constructions and Products (TBSP), Kyiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (044) 245-48-43.

E-mail: oles.lastivka@gmail.com.

Статтю прийнято 06.12.2018 р.