

выполнения кафедральных научно-исследовательских работ градостроительной направленности.

Ключевые слова: аэропорт, градостроительство, инфраструктура, научная деятельность.

**Abstract**

*Participants will present their thesis reports at the symposium on «Urban planning aspects of airport development» (March 2016) answering general questions and concerns. Students will also share their experience in departmental research on urban concepts.*

*Keywords: airport, town-planning, infrastructure, scientific activity*

*Стаття надійшла до редакції у березні 2016р.*

УДК 691.5

**Грабовчак В.В.**<sup>4</sup>, к.т.н, доцент  
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

**ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БЕТОНІВ НА ОСНОВІ  
ПАЛИВНИХ ЗОЛ У СУЧАСНОМУ БУДІВНИЦТВІ**

*Досліджено можливість використання лужних золовмісних цементів при проектуванні складу бетону з покращеними технологічними і експлуатаційними властивостями.*

**Ключові слова:** лужний цемент, зола, кальційвміщуючі компоненти, міцність при стиску, тепловиділення.

**Актуальність теми.** Останнім часом в Україні спостерігається скорочення паливно-енергетичного комплексу, суттєве зростання ціни на природний газ та електроенергію, тому сучасний розвиток будівництва шукає шляхи впровадження ресурсозберігаючих технологій, які істотно можуть скоротити енергоємність виробництва цементу. У зв'язку з чим будівельною індустрією відновилися дослідження, пов'язані з утилізацією золи-

---

<sup>4</sup> ©Грабовчак В.В.

винесення теплових електростанцій. Однак, з огляду об'єктивних причин, видобуток вугілля в Україні значно скоротився. В той же час у відвалах і сховищах вже накопичилась значна кількість відходів у тому числі паливних зол і шлаків, а також вихід твердих залишків від спалювання вугілля, як і раніше залишається істотний. Тому в умовах розвитку світової економіки та екологічної кризи використання відходів енергетичного комплексу забезпечує галузь будівельних матеріалів багатим джерелом дешевої, а іноді частково підготовленої сировини, що приводить до економії капітальних вкладень, сприяє звільненню значних площ для земельних ділянок та зниженню ступеня забруднення навколишнього середовища.

**Стан розробки проблеми в науці і практиці.** Найбільш перспективним напрямком, на думку ряду фахівців, є застосування золи як складової частини цементів, що цілком можна пояснити з точки зору рівномірного розподілу часток золи в об'ємі цементу.

В сучасному будівництві золи використовують при виготовленні як монолітних, так і збірних бетонних конструкцій [1,2]. Використання золи ТЕС в якості добавок при виготовленні важких бетонів дозволяє економити близько 10 % цементу [3]. Також значного поширення набуло застосування тонкодисперсної золи-винесення, яка позитивно впливає на легкоукладальність бетону, його водовідділення, сульфатостійкість, стійкість до лужної і соляної корозії, зменшує деформації усадки і підвищує тріщиностійкість та міцність бетону на пізніх етапах твердіння.

Можливість застосування золи-винесення як компоненту лужних в'язучих речовин було показано Науково-дослідним інститутом в'язучих матеріалів ім. В.Д. Глуховського КНУБА [4,5]. Подальші дослідження дозволили запропонувати зололужні в'язучі на основі золи-винесення та золошлакових сумішей ТЕС, лужних компонентів та коригуючих високоосновних добавок (портландцементний клінкер, металургійні шлаки) у кількості 5...45 % за масою [5].

## **Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (15) 2016**

Науковцями НДІВМ, було показано, що застосування лужних цементів на основі паливних зол та шлаків, при відносно невеликих витратах портландцементу (до 30%), дозволяє отримувати в'язучі композиції, які за своїми фізико-механічними характеристиками майже не відрізняються від портландцементних в'язучих, а в деяких випадках їх переважають [6,7]. Однак, не зважаючи на позитивний досвід застосування золи в цементній промисловості, до сих пір актуальна проблема забезпечення надійності і довговічності виробів і конструкцій, виготовлених із застосуванням цементно-зольних в'язучих.

Виходячи з цього, основна **мета досліджень** полягає у вивченні можливості створення важких бетонів на основі лужних цементів з використанням паливних зол.

Особистий вклад. Для проведення досліджень, як основний матеріал було використано золу-винесення Ладижинської ТЕС, як лужний компонент застосовували кальциновану соду, в якості кальційвміщуючих компонентів – портландцемент ПЦ І-500 (бездобавочний) за ДСТУ Б В. 2.7-46:2010, з питомою поверхнею 3500 см<sup>2</sup>/г за Блейном та мелений гранульований доменний шлак (ДСТУ Б В.2.7-302:2014) з модулем основності 1,13 та модулем активності 0,17, вміст склофазы становить 53,55%, питома поверхня 4500 см<sup>2</sup>/г за Блейном. Результати фізико-хімічних досліджень представлені на рис.1. Основний хімічний склад вихідних компонентів наведено в таблиці 1.

*Таблиця 1.*

*Хімічний склад вихідних компонентів*

Компоненти	Хімічний склад, %				
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	в.п.п.
Зола	50,94	24,56	13,25	2,86	1,36
Шлак	40,0	5,91	0,32	46,98	–
ПЦ І-500	23,4	5,17	4,12	64,13	0,20

В даних дослідженнях були розглянуті важкі бетони на основі лужних золівмісних цементах класифіковані за ДСТУ Б.В. 2.7-181:2009 як лужний пуцолановий цемент ЛЦЕМ III, лужний композиційний цемент ЛЦЕМ V.

Лужні цемента готували окремим помелом золи, шлаку та змішуванням всіх компонентів з додаванням лужного компоненту та пластифікуючої добавки у кульовому млині. Склад лужних золівмісних цементів наведено в таблиці 2.

Підбір складу та виготовлення зразків лужного бетону виконували згідно ДСТУ Б В. 2.7-69-98 та ДСТУ Б В. 2.7-96-2000. Приготування бетонних сумішей здійснювали змішуванням вихідних компонентів у лабораторному змішувачі об'ємом 20 літрів.

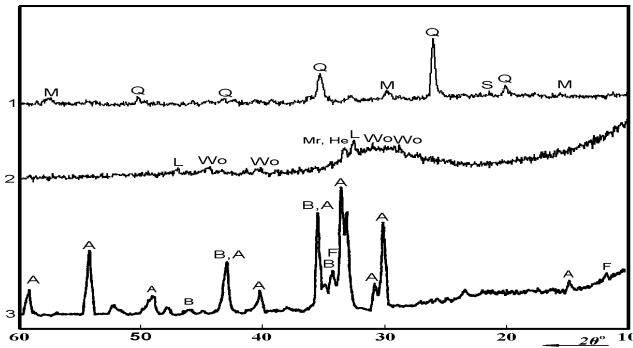


рис.1. Рентгенограми вихідних сировинних матеріалів, 1 – зола-винесення, 2 – мелений гранульований, доменний шлак, 3 – портландцемент ПЦ-500. Позначення: Q –  $\beta$ -кварц; M – муліт; L – лариніт; Wo – волластоніт; Mr – мервініт; He – геленіт; A – аліт; B – беліт; F – чотирикальцієвий алюмоферит

**Результати роботи.** На першому етапі розробки складів бетонів було визначено можливість отримання важких бетонів на основі цементів ЛЦЕМ III-400 та ЛЦЕМ V-400. Як порівняння паралельно досліджували контрольний склад на основі шлакопортландцементу марки ШПЦ III/A-400.

Таблиця 2.  
Склад лужних золівмісних цементів

Тип цементу	Компоненти, %				
	Зола	ПЦ I-500	Шлак	Лужний компонент	Пластифікуюча добавка
ЛЦЕМ III	70	30	-	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -5	до 1%
ЛЦЕМ V	60	10	30	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -5	до 1%

При порівнянні основних фізико-механічних характеристик (рис. 2) було показано, що активність бетонів на основі лужних цементів дещо переважає активність бетону на звичайному цементі. Результати проведених досліджень показали можливість отримання бетонів класів C12/15...C25/30 на основі лужних золівмісних цементів. Варто відзначити, що такі результати досягаються при вмісті золи в складі цементу 60%, що виключено при застосуванні традиційних систем. Отже, досліджувані системи є більш ресурсоефективними і дешевими у виробництві.

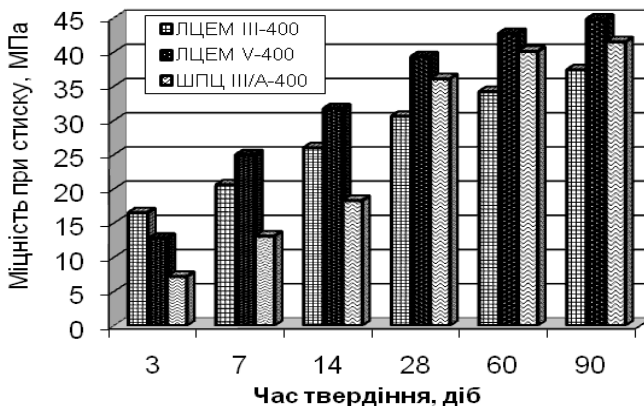


рис. 2. Зміна міцності бетону на основі лужних золівмісних цементів і шлакопортландцементу

При монолітному бетонуванні важливо, щоб бетонна суміш мала максимальну життєздатність, рухливість і ущільнювалася без застосування значних вібраційних впливів. Такі суміші здатні вільно текти і безперешкодно обтікати арматуру, проходки і закладні деталі, а також цілком заповнювати складні конфігурації конструкції. Основними проблемами, що виникають при виготовленні і використанні литих бетонів, є: водо- і розчиновідділення, котрі перешкоджають якісному укладанню й ущільненню конструкцій; підвищені витрати цементу як наслідок високого водовмісту; низька здатність зберігати рухливість у часі; повзучість і тепловиділення бетону.

Для проведення даного дослідження, використовували склад бетону на основі лужних золівмісних цементів, добавки додавали при виготовленні бетонних сумішей. Для збереження життєздатності бетонних сумішей виготовлених на основі лужних цементів використовували пластифікуючу добавку в кількості від 0,075 – 1,5% за мас. та сталому водоцементному відношенні ( $B/C=0,43$ ) (рис. 3).

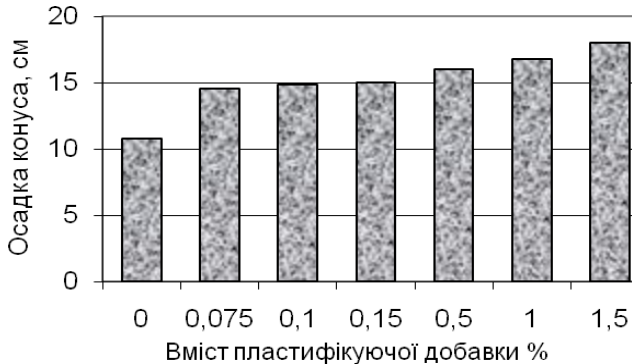


Рис. 3. Зміна осадки конуса від кількості пластифікуючої добавки

Для визначення впливу вмісту пластифікатора на властивості бетонної суміші, виконували дослідження зміни осадки конуса бетонної суміші при вмісті добавки від 0,075% до 1,5% та сталому

## Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (15) 2016

водоцементному відношенні ( $V/C=0,43$ ). За результатами досліджень (рис.3), встановлено, що 1,5% добавки надає бетонній суміші значної пластичності, суміш характеризується маркою за легкоукладальністю Р4 ( $OK=18\text{см}$ ), тоді як рухливість бездобавочної бетонної суміші становить Р3 ( $OK=10,0\text{см}$ ).

Аналізуючи отримані криві визначення життєздатності бетонних сумішей на основі лужних золівмісних цементів з використанням пластифікуючої добавки і без неї в часі (рис. 4), можна відмітити, що суміші з добавкою характеризуються життєздатністю більше 120 хвилин на відміну від бездобавочних, життєздатність яких складає майже 90 хв.

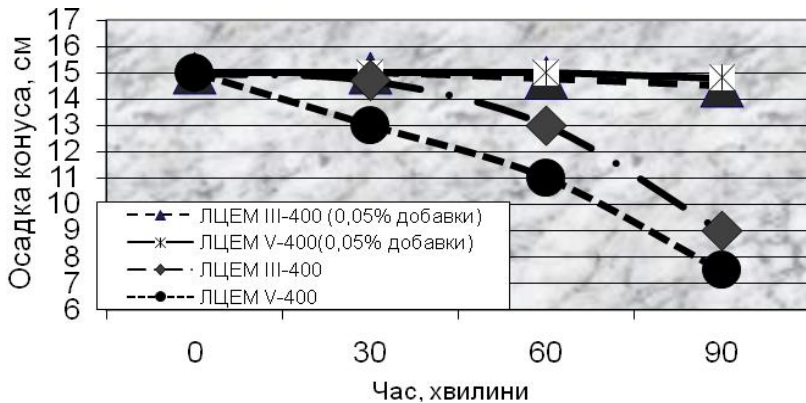


рис.4. Зміна показника життєздатності бетонної суміші з часом

Відомо, що тріщини в бетоні виникають через напруження, які в свою чергу, обумовлені тепловиділенням, формою та властивостями бетонного виробу. Тепловиділення різних цементів коливається в залежності від виду мінерального складу і тонини помелу. Найбільш інтенсивне тепловиділення цементу демонструють в початковий період гідратації – початковий екзоефект (екзоефект змочування), тому для зменшення тепловиділення до складу портландцементу вводять активні мінеральні добавки.

Встановлення зв'язку між тепловиділенням при твердненні золівмісних лужних в'язучих і їх хіміко-мінералогічним складом було досліджено за рахунок вивчення впливу золи, активатора та лужного компоненту на величину тепловиділення при гідратації цементу. Термокінетичні характеристики розглянутих цементних композицій визначали за кривими тепловиділення, згідно методиці [8], які дозволяють кількісно оцінити процес тепловиділення на кожному етапі.

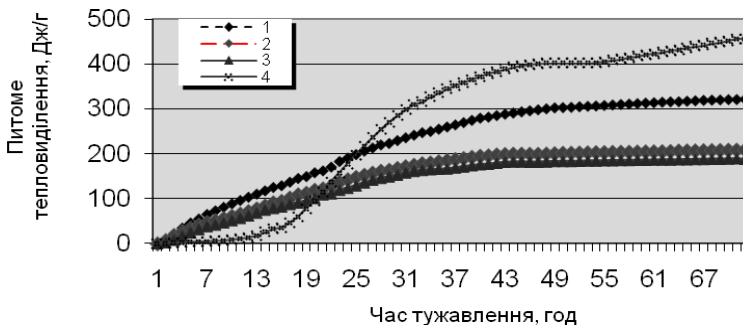


Рис.5 Питоме тепловиділення цементів: 1- «зола-вінесення – портландцемент – лужний компонент – добавка ПАР»; 2 – «зола-вінесення – портландцемент –шлак – лужний компонент – добавка ПАР»; 3- «зола-вінесення – шлак – лужний компонент – добавка ПАР»; 4 – ШПЦ III/A-400

За результатами досліджень (рис. 5) відмічено, що у лужних золівмісних цементів спостерігається інтенсивне тепловиділення в початковий період гідратації, це пов'язано з хімічною взаємодією компонентів цементу з лугом, в результаті чого порушується енергетичний стан системи і відбувається деструкція поверхневих шарів, що зумовлює формування новоутворень. Процес гідратації шлакопортландцементу у порівнянні з лужними золівмісними цементами характеризується більшим індукційним періодом і в 1,5 рази більшою теплоотою гідратації.



## **Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (15) 2016**

Таким чином, показники загальної кількості тепла свідчать, що лужні золівмісні цементи відносяться до низькоекзотермічних у порівнянні із шлакопортландцементом.

**Висновки дослідження.** Встановлено, що лужні цементы з використанням паливних зол та бетони на їх основі можуть задовольняти потребу в якісних будівельних матеріалах при мінімальних енергетичних та економічних витратах.

Визначено, що за міцністю і експлуатаційними показниками бетони на основі лужних золівмісних цементів не поступаються бетону на традиційному портландцементі. Також показано можливість управління рухомістю та життєздатністю бетонних сумішей на основі лужних золівмісних цементів за рахунок використання пластифікаторів.

Результати роботи використані при розробці проекту ДСТУ-Н Б А. 1.1 – 201... «Настанова з виготовлення та застосування лужних цементів, бетонів та конструкцій, в тому числі монолітних».

### **Використана література**

1. Ушеров-Маршак А.В. Химические и минеральные добавки в бетон / А.В. Ушеров-Маршак – Харьков: Колорит, 2005. – 280 с.
2. Krivenko P. V. Fly Ash Based Alkaline Cements Application: Proceeding of 2007 - Intern. Conf. [“Alkali Activated Materials – Research, Production and Utilization”] / P. V. Krivenko, G. Yu. Kovalchuk. – Prague, 2007. – P. 313-332.
3. Шидловський А.К. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / А.К. Шидловський, М. П. Ковалка. – К.: УЄЗ, 2001. – 400 с.
4. Рябова А.Г. Шлакощелочные вяжущие и бетоны на основе зол, шлаков и золошлаковых смесей тепловых электростанций: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец 05.23.05 / А.Г. Рябова; КИСИ. – Киев, 1968. – 19 с.
5. Кривенко П.В. Золощелочные вяжущие / П. В. Кривенко, А. Г. Рябова // Цемент. – 1990. – № 11. – С.14-16.

## **Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1 (15) 2016**

6. Krivenko P.V., Skurchinskaya J.V. Fly ash containing geocements // Proc. Intern. Conf. On the Utilization of Fly ash and other Coal Combustion By-Products. – Shanghai (China). – 1991. – P. 64-1 – 64-7.

7. Krivenko P.V. Fly ash – alkali cements and concretes // Proc. Fourth CANMET-ACI Intern. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete. – Istanbul (Turkey). – 1992. – P. 721–734.

8. ДСТУ Б В.2.7-289:2011. Цементи. Методи визначення теплоти гідратації (EN 196-9:2010, MOD). – взамен ГОСТ 310.5-88; введ. с 2013.01.01. – К. Мінрегіон України, 2011. – 26 с.

### **Annotation**

It was investigated the possibility to use fly ash-alkaline cements usage at concrete composition projection with improved technological and exploitation properties.

Key words: alkali-activated cement, fly ash, calcium containing components, compressive strength, Heat emission.

### **Аннотация**

Исследована возможность использования щелочных золосодержащих цементов при проектировании состава бетона с улучшенными технологическими и эксплуатационными свойствами

Ключевые слова: щелочной цемент, зола, кальцийсодержащие компоненты, прочность при сжатии., тепловыделение.

*Стаття надійшла до редакції у березні 2016р.*