

## ОЦІНКА ПУЦОЛАНОВОЇ АКТИВНОСТІ ЗОЛ ТЕС ПРИ ЗАСТОСУВАННІ В ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БЕТОНАХ

**Павлюк В.В.**, к.т.н., доцент,  
**Бондаренко О.П.**, к.т.н., доцент,

**Комлик В.І.**, аспірант,  
*Київський національний університет будівництва і архітектури*  
vitalii\_wolf@ukr.net, bondolya3@gmail.com

**Анотація.** Досліджено залежність пуццоланової активності відходів енергетичної промисловості різного хімічного та мінералогічного складу, отриманих за різними технологіями випалювання, відбору та активації. Встановлено, що у разі використання немеленої золи її кількість повинна обиратись в діапазоні 15...35%, для механоактивованої золи – в діапазоні 25...45%. Вказаний діапазон вмісту золи дозволяє не тільки визначити пуццоланову активність, але й виявити її оптимальну кількість, що може бути введена до складу в'язучих композицій і бетонних сумішей для покращення їхніх будівельно-технологічних властивостей та зниження енергозатрат на їх виробництво.

**Ключові слова:** зола, метакаолін, золівмісні в'язучі композиції, пуццоланова активність, коефіцієнт пуццолановості, властивості.

## ОЦЕНКА ПУЦОЛАНОВОЙ АКТИВНОСТИ ЗОЛ ТЭС ПРИ ПРИМЕНЕНИИ В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ БЕТОНАХ

**Павлюк В.В.**, к.т.н., доцент,  
**Бондаренко О.П.**, к.т.н., доцент,

**Комлык В.И.**, аспирант,  
*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*  
vitalii\_wolf@ukr.net, bondolya3@gmail.com

**Аннотация.** Исследовано зависимость пуццолановой активности отходов энергетической промышленности разного химического и минералогического состава, полученных по разным технологиям обжига, отбора и активации. Установлено, что при использовании немолотой золы ее количество должно выбираться в диапазоне 15...35%, для механоактивированной золы – в диапазоне 25...45%. Указанный диапазон содержания золы позволяет не только определить пуццолановую активность, но и выявить ее оптимальное количество, которое может быть введено в состав вяжущих композиций и бетонных смесей для улучшения их строительно-технологических свойств и снижения энергозатрат на их производство.

**Ключевые слова:** зола, метакаолин, золосодержащие вяжущие композиции, пуццолановая активность, коэффициент пуццолановости, свойства.

## EVALUATION OF THE POZZOLANIC ACTIVITY OF THE ASH OF THE TPP AT APPLICATION IN ENERGY EFFECTIVE CONCRETES

**Pavliyk V.V.**, PhD., Assistant Professor,  
**Bondarenko O.P.**, PhD., Assistant Professor,  
**Komlik V.I.**, Postgraduate,

*Kyiv National University of Construction and Architecture*  
vitalii\_wolf@ukr.net, bondolya3@gmail.com

**Abstract.** The research of dependence of pozzolanic activity of wastes of power industry with different chemical and mineralogical composition received on different technologies of burning, selection and activating was carried out. It was found that while using non- crushed ash, its quantity should be selected in the range of 15...35%, for mechanically activated ash – in the range of 25...45%. This range of ash content allows to determine the pozzolanic activity and to find optimal amount of ash that can be added into the binder composition and concrete mortar for improving their building and technological properties and reduce energy costs for their production. It was shown that the use of ash as a pozzolan component in the test compositions has a positive effect on the kinetics of strength growth of the artificial stone and also improves the rheological properties of the concrete, and increases the slump of concrete by 20...25%, depending on the type of ash.

**Keywords:** ash, metakaolin, ash-containing binder compositions, pozzolanic activity, pozzolanic coefficient, properties.

**Вступ.** Розробка сучасних енергоефективних бетонів передбачає використання у їх складі різноманітних в'язучих речовин зокрема і пуцоланових цементів, незважаючи на деякі їх недоліки, оскільки вплив пуцоланового компонента на властивості в'язучої системи сприяє зниженню теплоти гідратації, підвищенню стійкості штучного каменю на їхній основі до дії агресивного середовища, а тому й довговічності [1]. В сучасних умовах особливу увагу приділяють використанню у вигляді пуцоланового компонента найбільш поширеного техногенного продукту – паливної золи.

Відомо, що пуцоланова активність золи залежить від виду вихідного палива, способу його спалення та видалення [2]. У вигляді твердого палива використовують різноманітне вугілля, горючі сланці та торф. На більшості сучасних електростанцій спалювання кам'яного вугілля відбувається у пилоподібному стані (при досить високій температурі 1200...1700°C), внаслідок чого утворюються переважно кислі золи (з незначною кількістю невипалених вуглецевих часток), які є досить однорідними за своїм складом та властивостями. У зв'язку з незначним вмістом оксиду кальцію в складі більшості таких зол, використовують різні способи їх активації, включаючи хімічну активацію (добавки вапна, гіпсу, лужних добавок), а також механічну (при подрібненні у млинах різної конструкції).

Видалення золи здійснюється системою гідрозоловидалення та пневмозоловидалення. Зазвичай золи-винесення характеризуються більшою пуцолановою активністю за рахунок високої дисперсності та рівномірності згоряння палива в дрібному вигляді. Золи гідровидалення мають меншу активність внаслідок часткової гідратації найбільш активного компонента золи під час зберігання у відвалі, що передбачає їхню попередню сушку і механічну активацію під час помелу.

Пуцоланові властивості золи залежать від обраної технології спалювання твердого палива. Все більшого поширення набуває метод спалювання палива у псевдорідкому стані (або “киплячому” шарі), що дозволяє значно знизити викиди сірки та азоту в атмосферу. Зола-винесення, отримана при спалюванні палива у киплячому шарі при  $T=850^{\circ}\text{C}$ , має підвищений вміст ангідриту, кварцу та рентгеноаморфного алюмосилікату, що утворюється з глини в присутності вугілля, та обумовлює значний вплив на її пуцоланову активність. Низька температура та особливості технології спалювання золи у киплячому шарі виключають присутність намертво випаленого вапна, неактивного муліту та обумовлюють досить низький вміст невипалених вуглецевих частинок [2-4].

Незважаючи на здатність золи киплячого шару до самостійного тверднення (в разі наявності вільного вапна та ангідриту) та високі пуцоланові властивості, використання таких відходів у будівництві як компонента бетонних сумішей поки що є обмеженим, особливо при наявності у їх складі підвищеного вмісту вільного вапна, що призводить до екзотермічного розігріву суміші, а також можливого розширення та розтріскування синтезованого штучного каменю внаслідок утворення в складі продуктів твердіння вторинного еtringіту або таумаситу [3].

Для визначення можливості використання пуцоланового компонента у складі в'язучої

системи на основі портландцементу зазвичай проводять попередні випробування, які дозволять не тільки визначити пуцоланову активність, але й забезпечити стабільність властивостей штучного каменю в часі. Пуцоланова активність залежить від багатьох чинників, з яких найважливішими є хімічний склад пуцолани, її мінералогічний склад, питома поверхня.

**Аналіз останніх досліджень.** На цей час для оцінки пуцолановості використовують хімічні та фізико-механічні методи. Хімічні методи ґрунтуються в основному на визначенні кількості та швидкості зв'язування  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з пуцолановим компонентом або на встановленні кількості  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , які вилуговуються із складу пуцолани у визначених умовах [5, 6]. Хімічна методика при застосуванні пуцоланового компонента у вигляді золи передбачає встановлення ступеня зв'язування портландиту її кремнеземистою складовою і не завжди дає адекватну характеристику властивостей вихідної золи. Для оцінки пуцоланової активності золи найбільш часто використовують фізико-механічний методи, що передбачають введення добавки золи (у визначеній кількості) до складу портландцементу і полягають у визначенні впливу цієї добавки на міцність отриманих цементно-піщаних розчинів. Використання золи як добавки до складу портландцементу сприяє не тільки зв'язуванню портландиту в гідросилікатні фази, але й взаємодії складових золи з іншими гідратними (в тому числі гідроалюмінатними та гідросилікатними) фазами. При цьому зола також бере участь у процесах структуроутворення на фізичному рівні (дрібні частинки золи заповнюють пори та пустоти, виконуючи функцію мікронаповнювача). Сукупність зазначених процесів сприяє підвищенню міцності отриманого матеріалу та покращенню його експлуатаційних характеристик. Крім того, деякі види золи зменшують водопотребу розчинових та бетонних сумішей, впливаючи позитивно на підвищення їхньої рухомості, що є важливим при використанні таких сумішей в умовах сучасного будівництва [1].

**Мета і завдання.** Мета даної роботи полягає в дослідженні пуцоланової активності зол, отриманих за різними технологіями випалювання та відбору, які відрізняються хіміко-мінералогічним складом та величиною питомої поверхні.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

– підтвердити вплив хімічного та мінералогічного складу продуктів спалювання палива, що отримані за різними технологіями випалювання та відбору, на процеси гідратації пуцоланових в'язучих речовин. Виявити характер зміни активності пуцоланових в'язучих залежно від виду та кількості пуцоланової добавки;

– визначити раціональний діапазон використання золи у складі пуцоланового цементу, що забезпечує проявлення найбільшої пуцоланової активності та опрацювати на цій підставі методику визначення пуцоланової активності.

**Об'єкти і методи досліджень.** Як основний компонент пуцоланового цементу використовували портландцемент марки ПЦ-І М500 виробництва ПАТ «Волинь-Цемент». Мінералогічний склад портландцементу представлений в основному трикальцієвим силікатом ( $d=0.294; 0.279; 0.193; 0.177$  нм), трикальцієвим алюмінатом ( $0.304; 0.283; 0.155$  нм) та двокальцієвим силікатом ( $0.273; 0.260; 0.218; 0.162$  нм) (рис. 1, кр. 1).

Пуцолановий компонент представлений золами різного складу, у тому числі золою-винесення Ладжинської ТЕС, золою гідровидалення Трипільської ТЕС та флюїдальною золою, що утворена при спалюванні палива у киплячому шарі (ТЕС “Жерань”, Польща). Пуцолановий компонент використовували у вихідному стані (після відбору на ТЕС) та після механічної активації у кульовому млині.

Для визначення ефективності дії пуцоланової добавки як еталон використовували метакаолін, який є однією із найбільш активних пуцоланових добавок штучного походження. Метакаолін – продукт дегідратації каоліну Глуховецького родовища Вінницької області при  $T = 800^\circ\text{C}$ .

Хімічний склад вихідних матеріалів наведено у табл. 1.

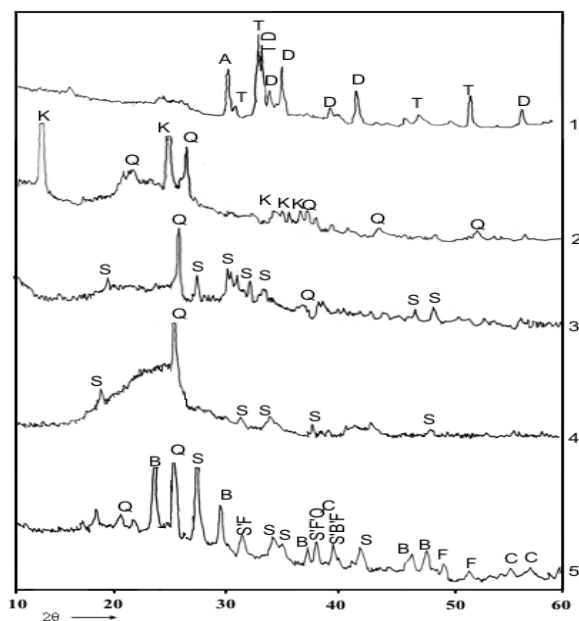


Рис. 1. Рентгенограми вихідних компонентів: 1 – портландцемент, 2 – метакаолін Глуховецького родовища; 3 – зола-винесення Ладижинської ТЕС; 4 – зола гідровидалення Трипільської ТЕС; 5 – флюїдальна зола ТЕС “Жерань”.  
Позначення: А –  $C_3A$ ; Т –  $C_3S$ ; D –  $C_2S$ ; Q –  $\beta$ -кварц; S – силіманіт; В –  $\beta$ -Ca  $SO_4$ ; С – CaO; F – гематит; К – каолініт

Таблиця 1 – Хімічний склад вихідних матеріалів

Найменування матеріалу	Вміст оксидів, мас.%										В.п.п., мас. %
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	
Портландцемент Здолбунівського цементного заводу	23,4	-	5,17	4,12	-	0,88	64,13	0,41	0,33	0,55	0,20
Зола-винесення Ладижинської ТЕС	50,94	0,94	24,56	13,25		1,98	2,86	0,69	2,69	-	1,64
Зола гідровидалення Трипільської ТЕС	48,2	0,89	19,65	4,50	3,15	1,36	2,18	1,04	2,78	0,11	16,02
Флюїдальна зола ТЕС “Жерань”	42,1	-	21,2	7,4		3,02	13,9	3,6		7,2	0,5
Метакаолін Глуховецький	52,5	-	42,0	0,8		0,25	0,3	0,1		0,3	2,7

Зола гідровидалення Трипільської ТЕС, як й зола-винесення Ладижинської ТЕС, представлена переважно склоподібною фазою силікатного та алюмосилікатного складу (лінія гало в межах кутів відбиття  $2\theta = 20...30$ ) з включеннями кристалічних фаз у вигляді  $\beta$ -кварцу ( $d = 0.424, 0.334, 0.229, 0.213$  нм), силіманіту  $Al_2O_3 \cdot SiO_2$  ( $d = 0.3364, 0.269, 0.253, 0.220$  нм) та деяких інших складових. Підвищена кількість органічного компонента у складі Трипільської золи пов'язана з недосконалою технологією спалювання кам'яного вугілля (рис. 1, кр. 3, 4). Флюїдальна зола містить  $\beta$ -кварц ( $d = 0.424; 0.334; 0.229; 0.213$  нм), силіманіт  $Al_2O_3 \cdot SiO_2$

( $d = 0.336; 0.269; 0.253; 0.220$  нм), ангідрит  $\beta$ -CaSO<sub>4</sub> ( $d = 0.349; 0.285; 0.232; 0.220; 0.186; 0.174$  нм), незначну кількість оксиду кальцію CaO ( $d = 0.239; 0.169; 0.144$  нм), гематит  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $d = 0.269; 0.251; 0.220; 0.184; 0.169$  нм), а також рентгеноаморфну фазу алюмосилікатного складу, що представлена дегідратованими мінералами глин (рис. 1, кр. 5).

Метакаолін представлений переважно рентгеноаморфною речовиною з деякою кількістю реліктів каолініту ( $d = 0.712; 0.357; 0.256$  нм), та включеннями  $\beta$ -кварцу ( $d = 0.424, 0.334, 0.245$  нм) (рис. 1, кр. 2).

Хімічний та мінералогічний склад вихідних матеріалів визначали за допомогою хімічного та рентгенофазового методів досліджень. Питому поверхню вихідних компонентів та механоактивованого пуцоланового компонента в'язучих систем визначали за допомогою приладу Блейна (табл. 2). Помел золи здійснювали у кульовому млині протягом 1 години.

Таблиця 2 – Характеристика питомої поверхні компонентів в'язучих систем

Питома поверхня S <sub>пит</sub> , м <sup>2</sup> /кг	Портланд-цемент	Зола-винесення Ладжинської ТЕС	Зола гідро-видалення Трипільської ТЕС	Флюїдальна зола ТЕС "Жерань" (Польща)	Метакаолін
Вихідний компонент	323,4	323,88	250	350,3	1130,5
Диспергований компонент	–	412,3	432,8	651,9	–

Для визначення пуцоланової активності золи використовували методику EN-450 [7], згідно якої активність пуцоланових цементів визначали випробуванням зразків розміром 40×40×160 мм, виготовлених із цементно-піщаного розчину (співвідношення цемент : пісок = 1:3 при В/Ц = 0,5) при заміні в складі в'язучої речовини 25% цементу золою, зразки тверділи в нормальних умовах. Для дослідження кінетики процесу твердіння пуцоланових в'язучих систем міцність зразків визначали після 1, 3, 7, 28, 90 діб нормального твердіння.

Показник пуцоланової реакційної здатності – коефіцієнт пуцолановості  $K_{\text{пуц}}$ , який дорівнює співвідношенню міцності при стиску зразків, що містять добавку золи ( $R_{\text{зол}}$ ) до міцності бездобавочного аналога ( $R_{\text{без зол}}$ ), визначали за формулою:

$$K_{\text{пуц}} = (R_{\text{зол}}/R_{\text{без зол}}) \times 100\%.$$

Оцінку придатності золи як пуцоланового компонента здійснювали за величиною показника пуцоланової активності, який за вимогами стандарту [7] на 28 добу твердіння повинен бути не менше ніж 75%, а на 90 добу – не менше ніж 85% активності зразків на основі портландцементу без добавок.

Враховуючи, що пуцолановий компонент впливає не тільки на властивості будівельних розчинів і бетонів, але й на реологічні характеристики розчинових і бетонних сумішей, крім коефіцієнта пуцоланової активності також була досліджена рухомість цементно-піщаних розчинів за ДСТУ Б В.2.7-239:2010.

При проведенні досліджень як базову композицію вибрано цементно-піщаний розчин, що містить як в'язучу речовину 100% портландцемент М500.

**Результати досліджень.** За відомою методикою [7] визначення пуцоланової активності золи передбачає введення її до складу в'язучої речовини у кількості 25%. Враховуючи те, що не завжди при цій концентрації пуцоланового компонента в'язучі речовини проявляють найбільшу активність, було прийнято рішення про розширення діапазону введення пуцоланової добавки в межах від 15 до 55% з інтервалом дозування в 10%, при цьому для проведення досліджень використовували як вихідну золу, так й золу після механічної активації.

Ефективність дії пуцоланової добавки оцінювали за величиною відносної міцності, як відношення міцності композицій на основі цементно-зольної в'язучої речовини до міцності

використаного портландцементу. Результати визначення пуцоланової активності різних видів золи наведені на рис. 2.

Аналіз отриманих даних дозволяє констатувати, що при використанні вихідної золи гідровидалення Трипільської ТЕС максимальне значення коефіцієнта пуцоланової активності досягається при введенні 15% золи ( $K_{\text{пуц}} = 0,75$ ). Збільшення кількості золи в складі в'язучої композиції приводить до падіння  $K_{\text{пуц}}$  до величини, що дорівнює 0,55 та нижче. На 90 та 365 добу максимальна пуцоланова активність ( $K_{\text{пуц}} = 0,91$  та 0,95 відповідно) спостерігається для композиції з вмістом 15...25% золи (рис. 2, б).

В разі використання неактивованої Ладижинської золи-винесення, що характеризується достатньо високою питомою поверхнею, найбільший коефіцієнт пуцолановості ( $K_{\text{пуц}} = 0,79$ ) досягається при вмісті золи 25%. На 90 добу найбільша пуцоланова активність ( $K_{\text{пуц}} = 0,97$ ) відмічена для в'язучих з вмістом золи 15...25% (рис. 2, а), а на 365 добу твердіння максимальне значення пуцоланової активності ( $K_{\text{пуц}} = 1,08$ ) зафіксовано у композиції із вмістом золи 35% (рис. 2, а).

Флюїдальна зола, що характеризується максимальною серед розглянутих зол дисперсністю та значним вмістом аморфізованої речовини, обумовлює отримання каменю з максимальним  $K_{\text{пуц}} = 0,88$  при вмісті золи 35%, а на 90 добу твердіння – 35...45% ( $K_{\text{пуц}} = 1,09$ ) (рис. 2, в). Після твердіння протягом 365 діб максимальне значення коефіцієнта пуцоланової активності становить ( $K_{\text{пуц}} = 1,13$ ) при витраті золи 25% (рис. 2, в).

Характер зміни активності в'язучих систем у часі (від 1 до 365 діб) незалежно від виду пуцоланового компонента має однакову тенденцію, більш стабільними показниками міцності відрізняються склади в'язучих, що містять золу у кількості 15...35%.

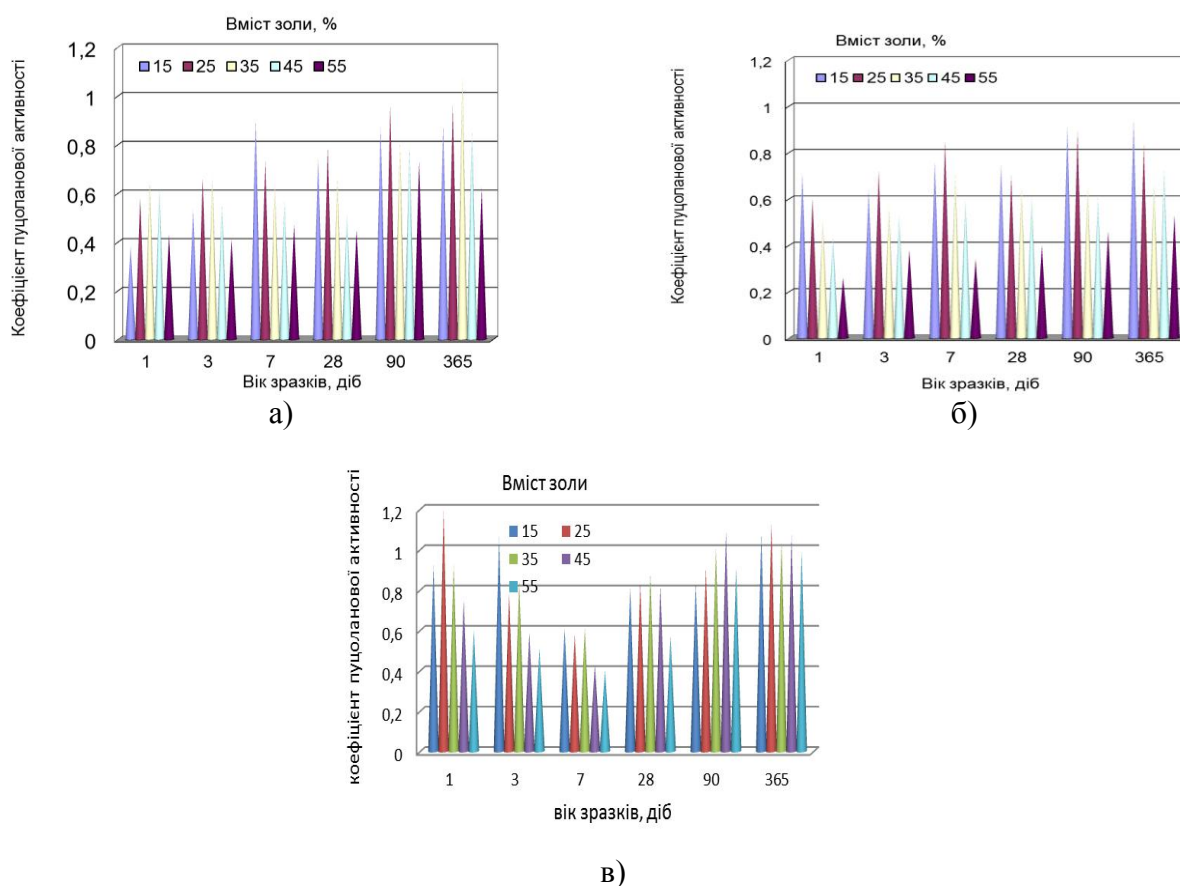


Рис. 2. Зміна коефіцієнта пуцоланової активності залежно від виду та вмісту у складі в'язучої речовини золи та терміну гідратації цементно-піщаного розчину: а – зола винесення Ладижинської ТЕС; б – зола гідровидалення Трипільської ТЕС; в – флюїдальна зола електростанції Жерань (Польща)

Збільшення ступеня дисперсності золи під час механічної активації сприяє зростанню коефіцієнта пуцолановості золовмісних в'язучих композицій до 0,8...1,0 та більше, при цьому вміст золи в складі в'язучої речовини може досягати 45% (рис. 3).

При використанні різних типів золи максимальні показники коефіцієнта пуцолановості на 28 добу твердіння досягаються при її вмісті: для Трипільської – 25% ( $K_{\text{пуц}} = 1,05$ ), для Ладижинської – 35% ( $K_{\text{пуц}} = 1,05$ ), для флюїдальної – 45% ( $K_{\text{пуц}} = 1,19$ ). На 90 добу коефіцієнт пуцолановості зростає для Трипільської золи до 1,21, для Ладижинської до 1,31, для флюїдальної до 1,42.

Найбільш стабільне підвищення міцності в часі спостерігається при твердінні в'язучих композицій з добавкою механоактивованої золи, в тому числі Трипільської в кількості 25%, Ладижинської – 35%, флюїдальної – 35...45%. Незначне зниження коефіцієнта пуцоланової активності після 365 діб гідратації для флюїдальної золи можна пояснити перекристалізацією гідросульфоалюмінатів кальцію [8].

Визначення показника пуцолановості в'язучих систем, які містять метакеолін показали, що найбільше його значення 1,43 досягається при заміні портландцементу добавкою золи у кількості 25...35% (рис. 3, г).

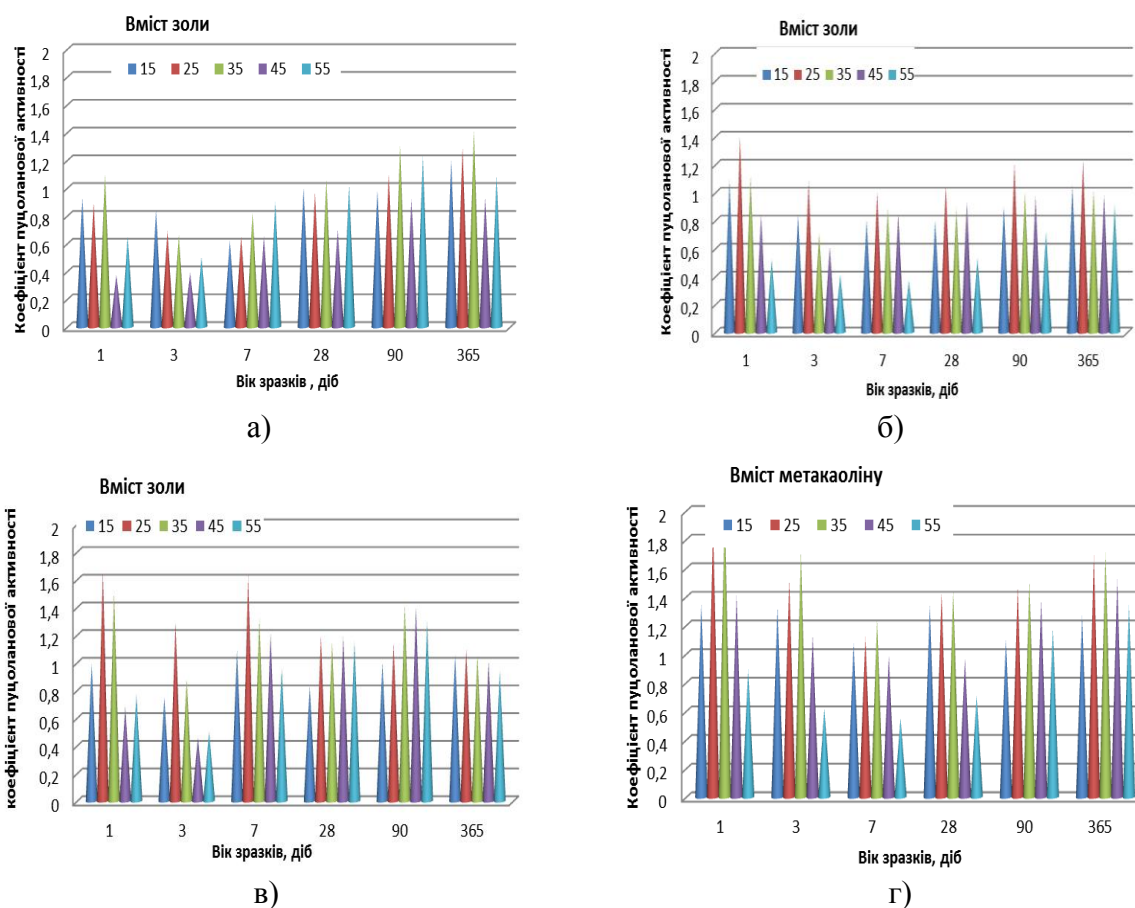


Рис. 3. Зміна коефіцієнта пуцоланової активності залежно від виду та вмісту у складі в'язучої речовини активованої золи (метакеоліну) та терміну гідратації цементно-піщаного розчину: а – зола винесення Ладижинської ТЕС; б – зола гідровидалення Трипільської ТЕС; в – флюїдальна зола електростанції Жерань (Польща); г – термоактивований каолін Глуховецького родовища

Введення пуцоланового компонента у вигляді золи до складу досліджених композицій позитивно впливає не тільки на кінетику нарощування міцності штучного каменю, але й покращує реологічні властивості розчинової суміші. Дослідження рухомості цементно-піщаних розчинів при В/Ц = 0,5 наведені на рис. 4.



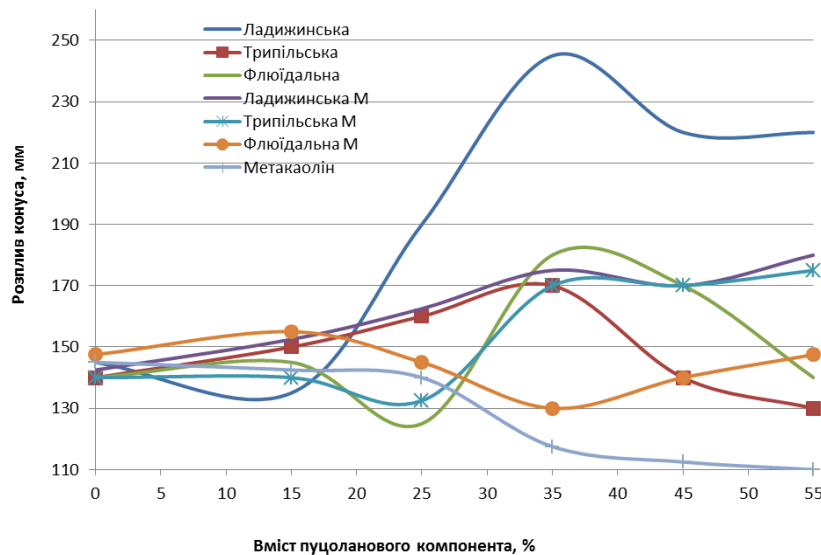


Рис. 4. Зміна рухомості цементно-піщаного розчину, модифікованого пуцолановими добавками різної природи та дисперсності

Наявність в складі в'язучої речовини метакеолину в кількості до 25% практично не впливає на показник рухомості розчинової суміші, порівняно з аналогом без добавок. Добавка до складу цементу 35% немеленої золи (незалежно від умов утворення останньої) підвищує рухомість розчинової суміші на 25% та вище, досягаючи максимуму (245 см) при використанні Ладжинської золи-винесення. Добавка механоактивованих зол Ладжинської та Трипільської ТЕС в кількості більше 25% підвищує рухомість розчинової суміші приблизно на 20% порівняно з аналогом без добавок золи. Добавка меленої флюїдальної золи практично не впливає на рухомість розчинової суміші.

Аналіз наведеної інформації дозволяє зазначити, що стандартний метод визначення пуцоланової активності [5] передбачає використання пуцоланової добавки високої активності в кількості 25%. Підтвердженням цьому є застосування метакеолину як ефективної пуцоланової добавки в складі портландцементних в'язучих систем.

Враховуючи різну активність золи, що обумовлена її хіміко-мінералогічним складом, оптимальний її вміст для забезпечення максимального показника пуцолановості за даними проведених досліджень вибирається в такому діапазоні: для немеленої високотемпературної золи гідровидалення з високим вмістом невипалених вуглецевих частинок – 15%, для сухої золи-винесення – 25%, а для низькотемпературної золи, в тому числі флюїдальної, з вмістом до 10% активного СаО – 35%.

У випадку використання механоактивації кількість золи, що забезпечує максимальний коефіцієнт пуцолановості, підвищується порівняно з показниками зразків на основі немеленої золи: оптимальний вміст меленої золи гідровидалення становить 25%, високотемпературної золи-винесення – 35%. При використанні низькотемпературної золи оптимальна її кількість може бути у діапазоні 35...45% залежно від вмісту активного СаО у складі пуцолани. З підвищенням кількості СаО у складі золи, найбільший показник пуцолановості спостерігається при вмісті золи 45%.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** При дослідженні пуцоланової активності золи з метою використання останньої в енергоефективних бетонах слід розглядати досить широкий діапазон введення пуцоланової добавки, оскільки ефективність її дії залежить від питомої поверхні, мінералогічного та хімічного складу, а також від характеру механохімічної активації.



При визначенні пуцоланової активності у випадку використання немеленої золи її кількість повинна обиратись в діапазоні 15...35%, для механоактивованої золи – в діапазоні 25...45%. Вказаний діапазон вмісту золи дозволяє не тільки визначити пуцоланову активність, але й виявити її оптимальну кількість, що може бути введена до складу в'язучих композицій і бетонних сумішей для покращення їхніх будівельно-технологічних властивостей та зниження енергозатрат на їх виробництво.

Отримані результати можуть бути використані в подальших дослідженнях по удосконаленню методики щодо визначення пуцоланової активності золомістких відходів, які входять до складу пуцоланових цементів, або композиційних в'язучих систем. Запропоновані склади пуцоланових цементів можуть бути рекомендовані для отримання енергоефективних дисперсноармованих бетонів з покращеними експлуатаційними характеристиками.

### Література

1. Dhir R.K. Optimizing Binders for Concrete Construction / R.K. Dhir, M.I. McCarthy // World Cement. – England, 1997. – Vol. 28. – P. 74-81.
2. Brandstetr J. Properties and Use of Solid Residue from Fluidized Bed Coal Combustion Waste Materials Used in Concrete Manufacturing, ed. by Satish Chandra / J. Brandstetr, J. Havlica, I. Odler. – Westwood, New Jersey, USA, 1996. – P. 1-52.
3. Pushkarova K.K. Features of Processes Hydration and Hardening of Binding Compositions Based on Fluidized Fly Ash / K.K. Pushkarova, W. Domsolawsky // Cement and Building Materials: Proceedings of 7<sup>th</sup> International Seminar. 21-24 November, 2000, New Delhi. – V. 4. – P. 125-134.
4. Пушкарьова К.К. Фізико-хімічні особливості формування складу та структури штучного каменю з високими експлуатаційними властивостями / К.К. Пушкарьова, О.П. Бондаренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА “ХОТВ АБУ”, 2007. – Вип. 42. – С. 119-127.
5. Бутт Ю.М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев. – М.: Высш. шк., 1973. – С. 71-75.
6. Массаца Ф. Химия пуццолановых добавок и смешанных цементов / Ф. Массаца // Шестой международный конгресс по химии цемента. – Т.3. – М.: Стройиздат, 1976. – С. 209-221.
7. EN-450-2:2005 Fly Ash for Concrete. Conformity evaluation. – 28 p.
8. Павлюк В.В. Золоцементносульфатні в'язучі речовини, модифіковані кремнеземистими добавками, та бетони на їх основі: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Павлюк Віталій Володимирович. Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2005. – 21 с.

Стаття надійшла 6.12.2017