

**КЛАДОЧНЫЕ ПОРИЗОВАННЫЕ РАСТВОРЫ НА ОСНОВЕ  
ЗОЛОСОДЕРЖАЩИХ СУХИХ СМЕСЕЙ**

**POROUS MASONRY MORTARS BASED OF ASH DRY MIXES**

**Марчук В.В., к.т.н.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

**Марчук В.В., к.т.н.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

**Marchuk V.V., Ph.D.** (National University of Water Management and Nature Resources, Rivne)

Наведені результати експериментальних дослідження поризованих мурувальних розчинів на основі модифікованих золовмісних в'язучих низької водопотреби. Показана можливість отримання розчинів марок М100...М200 при густині 1170...1510 кг/м<sup>3</sup>.

Приведены результаты экспериментальных исследования поризованных кладочных растворов на основе модифицированных золосодержащих вяжущих низкой водопотребности. Показана возможность получения растворов марок М100 ... М200 при плотности 1170 ... 1510 кг/м<sup>3</sup>.

There are given results of experimental research of aerated mortars based on fly ash containing low water demand binder. There is shown the possibility of obtaining mortars with compressive strength 15-20 MPa and density 1170 ... 1510 kg/m<sup>3</sup>.

**Ключові слова:**

Портландцемент, в'язучі низької водопотреби, поризований розчин, зола-винос, суперпластифікатор.

Портландцемент, вяжущие низкой водопотребности, поризованный раствор, зола-унос, суперпластификатор.

Portlandcement, low water demand cement, drypack, fly-ash, superplasticizer.

У сучасних економічних умовах в Україні у зв'язку з високою ціною на енергоносії все більшої актуальності набуває проблема ресурсо- та енергозбереження. Вирішення цієї проблеми досягається застосуванням

ефективних теплоізоляційних матеріалів. Для підвищення теплоізоляційних та звукоізоляційних властивостей конструкцій і споруд доцільно використовувати поризовані розчини. В якості сухих сумішей поризовані розчини можуть успішно використовуватись для влаштування «теплих підлог», а також як мурувальні розчини для стінових матеріалів з підвищеними теплоізоляційними властивостями (поризовані керамічні блоки, пінобетонні блоки і т.п.). Ефект від застосування таких матеріалів зростає, якщо теплопровідність розчину кладки не поступається аналогічному показнику стінового матеріалу. Як відомо, цементно-піщані мурувальні розчини мають високі показники теплопровідності (0,8-0,9 Вт/м·К), що особливо негативно відображається в кладці з поризованих блоків (0,16 Вт/м·К), які вони скріплюють, в результаті чого в такій конструкції в місцях шва утворюються містки холоду. Традиційна технологія передбачає нанесення мурувальних розчинів шаром 10...20 мм. Збільшення товщини швів призводить до зниження середнього термічного опору конструкції приблизно на 20% за рахунок появи містків холоду. [1,2]. Оскільки сучасні технології дозволяють виготовляти стінові камені та блоки з мінімальними (до 1 мм) відхиленнями геометричних розмірів від стандартних, стало можливим використовувати тонкошарову кладку з використанням мурувальних сумішей на основі тонкодисперсних сухих сумішей з розміром частинок заповнювача не більше 1 мм. В результаті товщина шву кладки становить 1...5 мм, що приводить до суттєвої економії розчину. Це також запобігає утворенню т.зв. “містків холоду”, зменшуються теплові втрати через огорожуючі конструкції, забезпечується висока адгезія до основи, водо- та морозостійкість. Застосування кладочних клеїв найбільш доцільне при застосуванні стінових блоків з ніздрюватих бетонів.

Суттєвим недоліком поризованих розчинів є їх низька міцність. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок підвищеного вмісту портландцементу у сумішах (до 500 кг/м<sup>3</sup>), що є не завжди економічно обґрунтованим. Тому доцільним буде використання цементів підвищеної міцності, зокрема в'язучих низької водопотреби (ВНВ) [3], технологія яких ґрунтується на дрібному подрібненні товарних портландцементів з додатковим введенням мінеральних добавок та сухого суперпластифікатора. Ці в'язучі мають нормальну густоту цементного тіста близько 18 % і дозволяють отримувати розчини з підвищеною міцністю або економити значну кількість цементу.

Виходячи з цього **мета роботи** полягала в експериментальному доведенні можливості отримання поризованих мурувальних розчинів на основі сухих будівельних сумішей з використанням модифікованих золівмісних ВНВ, а також дослідженні впливу на міцність та середню густину таких розчинів факторів їх складу.

**Вихідними матеріалами** при проведенні досліджень служили:

- портландцемент ПЦ II/A-III-500, який містить 20% доменного гранульованого шлаку виробництва ПАТ “Волинь-цемент”;
- золу-виносу Бурштинської ТЕС;
- кварцовий пісок Славутського кар’єру (Хмельницька обл.);
- суперпластифікатор полікарбоксилатного типу SikaVC125;
- інтенсифікатор помелу – пропіленгліколь;
- добавку-поризатор розчинів – піноутворювач UFAPORE CC85;
- прискорювач твердіння –  $\text{CaCl}_2$ .

**З метою вивчення** впливу факторів складу на міцнісні характеристики поризованих мурувальних розчинів на основі золівмісних ВНВ, а також встановлення оптимальних параметрів виготовлення розчинових сумішей основні дослідження були виконані із застосуванням математичного планування експерименту, що дозволяє досягти при мінімальній кількості дослідів заданого рівня значимості. Для цього був реалізований трьохрівневий трьохфакторний план  $B_3$  [4], умови планування якого наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Умови планування експерименту

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вид	Кодований вид	-1	0	+1	
Відношення в’язучого до заповнювача, В:Зап. ,	$X_1$	1:3	1:2	1:1	1
Вміст добавки Ufapore у розчині, % від СБС	$X_2$	0,04	0,075	0,11	0,035
Вміст $\text{CaCl}_2$ , у розчині, % від ВНВ	$X_3$	0	1	2	1

З урахуванням речовинного складу портландцементу склад отриманого в’язучого був наступний: клінкер 50%, шлак 12,5%, зола-виносу 37,5%, ПФМ – 0,4%.

У ході досліджень виготовляли розчини на основі ВНВ, де в якості заповнювача використовували золу-виносу та кварцовий пісок. Рухомість розчинів становила 180 мм за розливом на віскозиметрі Суттарда. Для розчинової суміші визначали водов’язуче відношення, яке забезпечує необхідну рухомість. Для отриманих розчинів - середню густину та міцність на стиск зразків-кубів з ребром 70,7 мм, які тверднули у повітряно-сухих умовах у віці 3 та 28 діб згідно [5]. Основні експериментальні результати досліджень мурувальних поризованих розчинів на основі золівмісного ВНВ наведені в табл. 2 та на рис.1...3.

Після проведення обробки і статистичного аналізу експериментальних даних отримали математичні моделі у вигляді поліноміальних рівнянь регресії, а відповідні графічні залежності середньої густини та міцності у віці 3 та 28 діб на рис. 1...3.

Таблиця 2

## Експериментальні результати досліджень поризованих розчинів

№	Фактори			В/ВНВ		$\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>		Міцність, МПа,			
	$\frac{\text{ВНВ}}{\text{Зол}} \frac{\text{ВНВ}}{\text{Пісок}}$	Ufapore	CaCl <sub>2</sub>	Зола	Пісок	Зола	Пісок	Зола		Пісок	
								3 діб	28 діб	3 діб	28 діб
1	1:1	0,11	2	0,4	0,34	1180	1320	8,9	15,4	10,2	17,7
2	1:1	0,11	0	0,38	0,32	1170	1310	8,1	14,0	9,2	16,0
3	1:1	0,04	2	0,51	0,43	1340	1490	12,7	21,9	14,7	25,4
4	1:1	0,04	0	0,5	0,43	1320	1470	11,7	20,1	13,6	23,3
5	1:3	0,11	2	0,55	0,47	1360	1550	6,1	10,5	7,0	12,1
6	1:3	0,11	0	0,53	0,45	1350	1540	5,7	9,8	6,5	11,2
7	1:3	0,04	2	0,66	0,56	1400	1590	7,8	13,4	9,0	15,5
8	1:3	0,04	0	0,64	0,54	1390	1580	7,0	12,0	7,9	13,6
9	1:1	0,075	1	0,45	0,38	1210	1370	10,0	17,2	11,4	19,6
10	1:3	0,04	1	0,65	0,55	1390	1580	7,4	12,7	8,6	14,7
11	1:2	0,11	1	0,45	0,38	1200	1380	8,4	14,5	9,5	16,4
12	1:2	0,04	1	0,53	0,45	1290	1470	11,7	20,2	13,6	23,4
13	1:2	0,075	2	0,5	0,43	1250	1440	10,9	18,8	12,3	21,2
14	1:2	0,075	0	0,48	0,41	1240	1430	9,9	17,1	11,4	19,7
15	1:2	0,075	1	0,49	0,42	1250	1450	10,3	17,8	11,7	20,3
16	1:2	0,075	1	0,5	0,43	1250	1440	10,3	17,7	11,6	20,0
17	1:2	0,075	1	0,49	0,42	1240	1440	10,2	17,5	11,7	20,1

Статистичні моделі поризованих розчинів на основі золівмісного ВНВ

Середньої густини, кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_{0(s)} = 1246 - 67 \cdot x_1 - 48 \cdot x_2 + 6 \cdot x_3 - 28,8 \cdot x_1 x_2 + 1,3 \cdot x_1 x_3 - 1,3 \cdot x_2 x_3 + 59 \cdot x_1^2 + 4 \cdot x_2^2 + 4 \cdot x_3^2 \quad (1)$$

$$\rho_{0(n)} = 1440 - 88 \cdot x_1 - 50 \cdot x_2 + 6 \cdot x_3 - 31,3 \cdot x_1 x_2 + 1,3 \cdot x_1 x_3 - 1,3 \cdot x_2 x_3 + 43,5 \cdot x_1^2 - 6,5 \cdot x_2^2 + 3,5 \cdot x_3^2 \quad (2)$$

Міцності у віці 3 діб, МПа

$$f_{m,cube}^{3\text{діб}}(s) = 10,3 + 1,75 \cdot x_1 - 1,36 \cdot x_2 + 0,41 \cdot x_3 - 0,54 \cdot x_1 x_2 + 0,08 \cdot x_1 x_3 - 0,08 \cdot x_2 x_3 - 1,64 \cdot x_1^2 - 0,25 \cdot x_2^2 + 0,09 \cdot x_3^2 \quad (3)$$

$$f_{m,cube}^{3\text{діб}}(n) = 11,76 + 2,01 \cdot x_1 - 1,64 \cdot x_2 + 0,46 \cdot x_3 - 0,69 \cdot x_1 x_2 + 0,06 \cdot x_1 x_3 - 0,09 \cdot x_2 x_3 - 1,79 \cdot x_1^2 - 0,24 \cdot x_2^2 + 0,06 \cdot x_3^2 \quad (4)$$

Міцності у віці 28 діб, МПа

$$f_{m,cube}^{28\text{діб}}(s) = 17,77 + 3,02 \cdot x_1 - 2,34 \cdot x_2 + 0,7 \cdot x_3 - 0,94 \cdot x_1 x_2 + 0,14 \cdot x_1 x_3 - 0,14 \cdot x_2 x_3 - 2,83 \cdot x_1^2 - 0,43 \cdot x_2^2 + 0,16 \cdot x_3^2 \quad (5)$$

$$f_{m,cube}^{28\text{діб}}(n) = 20,26 + 3,49 \cdot x_1 - 2,78 \cdot x_2 + 0,81 \cdot x_3 - 1,15 \cdot x_1 x_2 + 0,13 \cdot x_1 x_3 - 0,18 \cdot x_2 x_3 - 3,15 \cdot x_1^2 - 0,4 \cdot x_2^2 + 0,15 \cdot x_3^2 \quad (6)$$

Аналізуючи отримані дані, можна відмітити, що поризація розчинів помітно збільшує їх рухомість. Водопотреба розчинових сумішей для досягнення необхідної легкоукладальності суттєво зменшується при збільшенні кількості добавки-пороутворювача, але до певної межі, яка залежить від середньої густини отриманої розчинової суміші та співвідношення "в'яжуче : заповнювач". При однаковому вмісті пороутворювача зменшення співвідношення "ВНВ : Зап" від 1 : 1 до 1 : 2 незначно зменшує водопотребу розчинової суміші, у якій заповнювачем є зола-винос. Подальше зменшення співвідношення "ВНВ : Заповнювач" до 1 : 3 помітно зменшує водопотребу та водов'яжуче і водотвердне відношення. Заміна золи як заповнювача на кварцовий пісок суттєво зменшує водопотребу та збільшує рухомість розчинової суміші. Зниження водопотреби при цьому пропорційне збільшенню кількості добавки-пороутворювача та вмісту заповнювача в суміші за інших рівних умов.

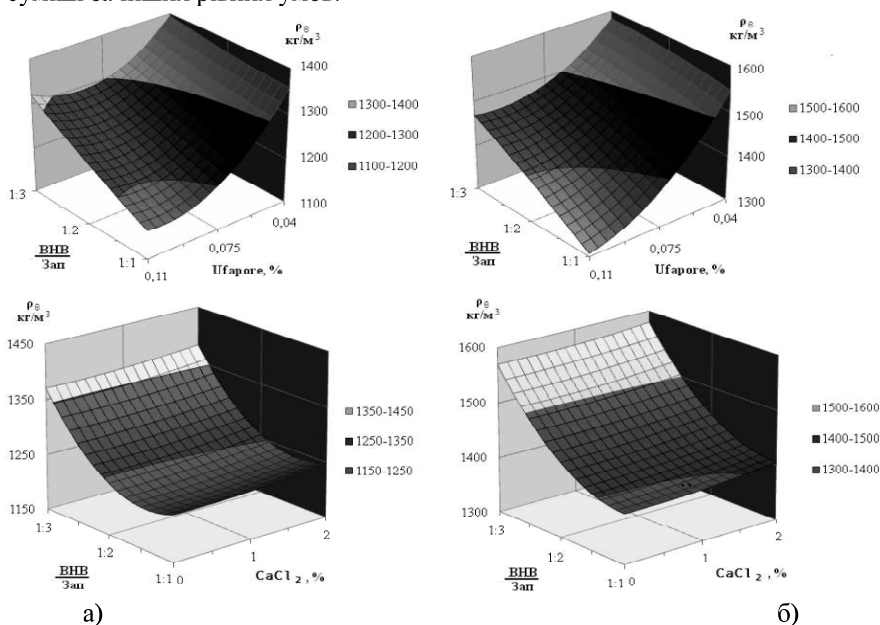


Рис. 1. Поверхня відгуку середньої густини поризованих розчинів на основі золівмісних ВНВ від факторів складу

(а – заповнювач – зола-виносу; б – заповнювач – кварцовий пісок).

Згідно отриманих математичних моделей та графічних залежностей (рис. 1) можна зробити висновок, що основними факторами, що впливають на середню густину є доля заповнювача та вміст добавки поризатора у розчині.

Прискорювач твердіння введений до складу суміші практично не впливає на густину.

Середню густину розчинів можна регулювати, змінюючи вміст поризатора та співвідношення "в'яжуче : заповнювач". Зрозуміло, що збільшення вмісту пороутворювача зменшує густину розчину, втім після певної межі (приблизно 0,1% від маси сухої суміші) ефект стає нестабільним. Подальше зменшення густини при використанні прийнятого поризатора неможливе. Очевидно слід використовувати добавки з більш інтенсивним піноутворенням, хоча при цьому можна очікувати негативного їх впливу на кінетику твердіння та міцність розчинів.

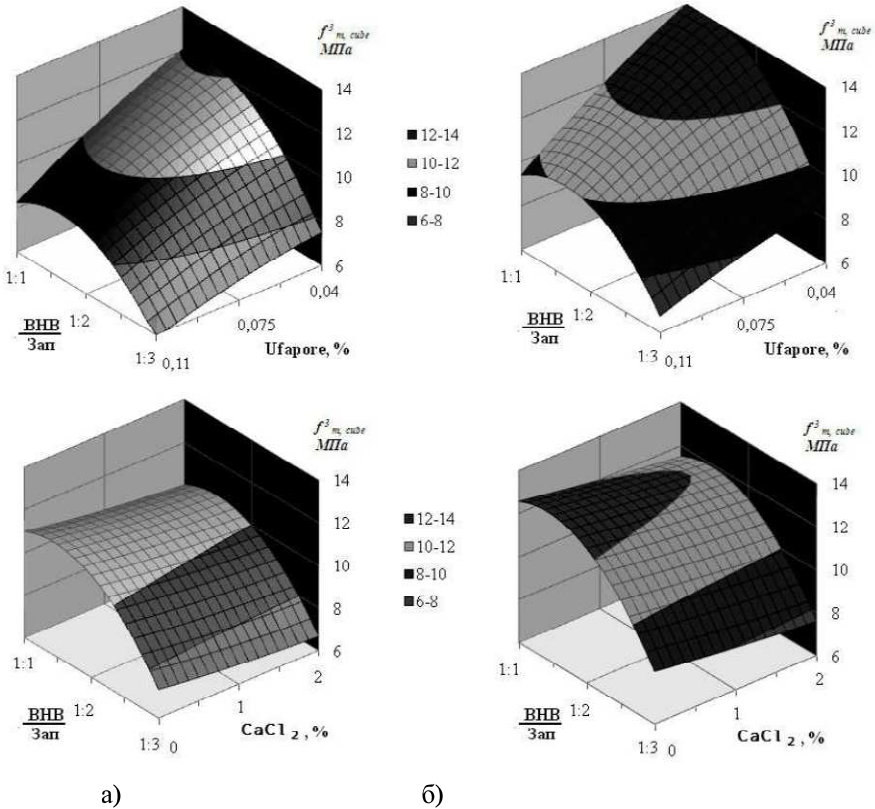


Рис. 2. Поверхня відгуку міцність поризованих розчинів у віці 3 діб на основі золівмісних ВНВ від факторів складу (а – заповнювач – зола-виносу; б – заповнювач – кварцовий пісок).

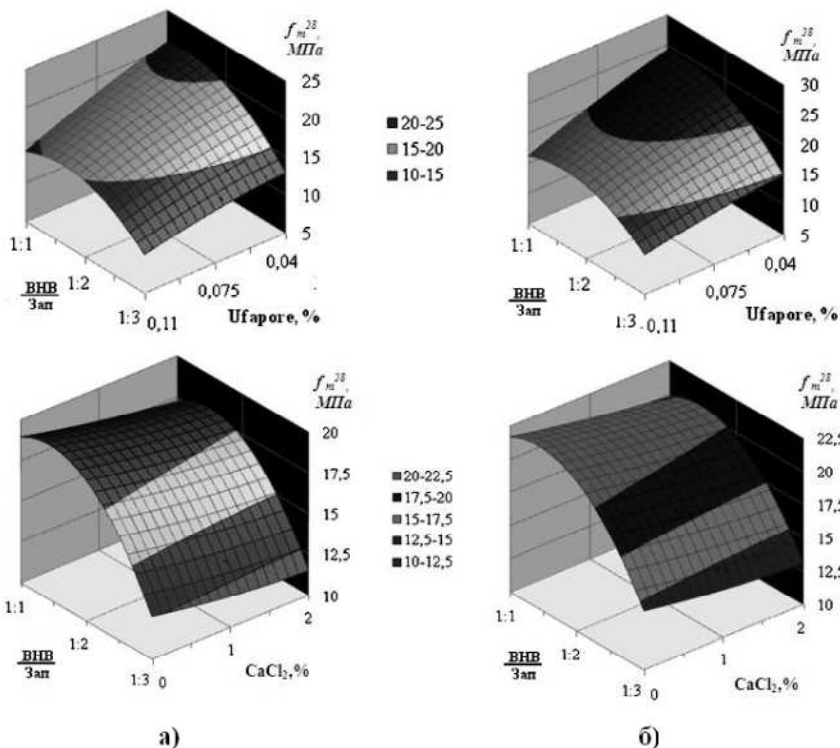


Рис. 3. Поверхня відгуку міцність поризованих розчинів у віці 28 діб на основі золувмісних ВНВ від факторів складу (а – заповнювач – зола-виносу; б – заповнювач – кварцовий пісок).

Аналізуючи міцність поризованих розчинів (рис.2, 3), можна зауважити, що як і слід було очікувати, вона залежить у першу чергу не від водов'язучого відношення, а від пористості розчину, яку можна оцінити за середньою густиною. Із збільшенням середньої густини міцність розчину зростає незалежно від складу розчину та виду заповнювача. Для суміші на основі ВНВ та золи-виносу характерна середня густина розчинів 1200...1400 кг/м<sup>3</sup> та міцність 13...20 МПа. При цьому збільшення густини з 1200 до 1300 кг/м<sup>3</sup> супроводжується ростом міцності на 20...25 %, при співвідношенні суміші "в'язуче : заповнювач" = 1:1, подальше збільшення середньої густини не призводить до суттєвого підвищення міцності.. Така ж залежність спостерігається за умови використання в якості заповнювача суміші кварцового піску, в цьому випадку отримують розчини міцністю 15...24 МПа. В свою чергу для цементно-піщаних сумішей середня густина

збільшується до 1310...1600 кг/м<sup>3</sup>. Поризовані розчини складу ВНВ : Зап = 1:2 при збільшенні густини від 1210 до 1450 кг/м<sup>3</sup> характеризуються лінійним збільшенням міцності на 60...70%, максимальним значенням – 20 МПа та 24 МПа для заповнювачів золи-виносу та піску – відповідно. При збільшенні вмісту заповнювача (ВНВ : Зап = 1:3) маємо лінійне зменшення міцності при однаковій густині на обох видах заповнювачів. Прискорювач твердіння, який вводитьься до складу суміші призводить до росту ранньої міцності на 10...12% та марочної до 10%.

**Висновки.** Виконані дослідження показали, що модифіковані золовмісні в'язучі низької водопотреби доцільно використовувати у якості в'язучого сухих будівельних сумішей для мурувальних поризованих розчинів, зокрема для кладки з легких блоків. В такому випадку можливо уникнути так званих «містків холоду». У випадку використання в якості заповнювача сумішей золи-виносу міцність досягається 15...20 МПа при середній густині розчину 1200...1400 кг/м<sup>3</sup> та 20...25 МПа при середній густині розчинів 1350...1550 кг/м<sup>3</sup> і використанні кварцевого піску. Для досягнення вказаної середньої густини вміст у сухій суміші пороутворювача UFAPORE CC 85 повинен становити 0,04...0,11%. Введення прискорювача твердіння дозволяє отримати поризовані розчини з міцністю, яка вища на 10% від міцності суміші без CaCl<sub>2</sub>

1. Рунова Р.Ф. Технологія модифікованих будівельних розчинів: / Р.Ф.Рунова , Ю.Л. Носовський . - К: Видавництво КНУБіА, 2007.-256 с. 2. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали / Захар-ченко П.В., Долгий Е.М., Галаган Ю.О. та ін. - К, 2005.- 512 с. 3. Дворкін Л.Й. та ін.. Золовмісні цементи низької водопотреби Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – Рівне, 2012. Вип. 23.- С. 42-48. 4. Дворкін Л.Й. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту /Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Житковський В.В. - Рівне: НУВГП, 2011- 174 с. 5. ДСТУ-П Б В.2.7-126:2006. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. 6. Дворкин Л.И. Снижение расхода цемента и топлива в производстве сборного железобетона. - Киев: Вища школа, 1985. 195 с.