

УДК 666.973

## **МОДИФІКОВАНА ПІНОБЕТОННА СУМІШ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТРУБОПРОВОДІВ**

---

О.В. КОВАЛЕНКО, О.О. ДЕХТЯР, А.І. ЛЕВЧЕНКО

Інститут гідротехніки і меліорації УААН

*Досліджено технологічні та фізико-механічні властивості модифікованого пінобетону на основі полімерцементів залежно від його складу. Визначено область оптимальних складів розроблених композицій як тампонажних матеріалів для ремонту трубопроводів меліоративних систем.*

© О.В. Коваленко, О.О. Дехтяр,  
А.І. Левченко, 2009

Меліорація і водне господарство. 2009. Вип. 97

**Проблема.** Натурні дослідження корозійного стану металевих трубопроводів закритих зрошувальних систем показують, що значна їхня частина зазнає агресивного впливу зовнішнього середовища і потребує негайного проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

В Інституті гідротехніки і меліорації УААН розроблено технологію відновлення трубопроводів, у тому числі підземних, шляхом протягування в їхній порожнині пластмасової труби з подальшим заповненням під тиском міжтрубного простору цементно-піщаним розчином [1, 2]. Застосування такої технології дає змогу відновити експлуатаційну властивість існуючого трубопроводу та значно підвищити його довговічність. Цементно-піщаний розчин, однак, має низку технологічних недоліків, основними з яких є неможливість проведення тампонажу міжтрубного простору на великі відстані через недостатню рухливість цементно-піщаної суміші. Як тампонажний розчин нами запропоновано застосовувати пінополімерцементні розчини.

Застосування пінополімерцементних розчинів у комплексі з ефективними суперпластифікаторами відкриває можливість проведення тампонажу на значні відстані (до 50 м) від місць ін'єктування, тобто знизити кількість штуцерів для закачування розчину по трасі трубопроводу, що ремонтують.

Для отримання технічного результату нами було розроблено суміш для виготовлення монолітного пінобетону неавтоклавного твердіння [3].

Пінобетон, отриманий за безавтоклавною та безпропарювальною технологією, має такі переваги:

- низька густина, а отже, легкість пінобетону;
- низьке водопоглинання (порова структура у пінобетону замкнена) і як наслідок – стійкість до перемінного заморожування і відтавання;
- можливість заливу, в тому числі у закриті порожнини;
- пінобетонна суміш на виході з установки має такий самий об'єм, що й готовий виріб – він не зазнає седиментації;

- технологія виробництва дає змогу легко регулювати питому густину пінобетону, яка залежить тільки від дотримання пропорцій компонентів та технологічних параметрів виготовлення;

- легкоукладальність суміші;
- невисокі ціни на вихідні компоненти для виробництва;
- не потребує енергозатратних технологій (пропарювальних установок і т.п.).

В основу розробки поставлено **завдання** покращання технологічних властивостей пінобетонної суміші, підвищення рухливості, зниження водовідділення і розшарування, зменшення усадки та підвищення фізико-механічних властивостей пінобетону.

**Методика.** Вирішення поставленого завдання досягається завдяки тому, що запропонована суміш містить портландцемент, активний наповнювач — кремнеземистий вторинний продукт промисловості — золу-винос ТЕС, піноутворювач білково-миловий концентрований БМК, суперпластифікатор МЕЛМЕНТ Л 10, комплексну полімерну добавку ВІННАПАС та технічну воду.

Введення у пінобетонну суміш золи-виносу зумовлено необхідністю поліпшення реологічних та фізико-механічних характеристик розробленого матеріалу. Зола-винос, що має високу питому поверхню, крім прямої хімічної взаємодії з цементом, активно впливає на фізико-хімічні процеси на поверхні розділу цемент-наповнювач.

Відомо, що гідравлічна активність золи-виносу значною мірою зумовлена хімічною взаємодією оксидів кремнію та алюмінію з гідроксидом кальцію, який виділяється при гідролізі клінкерних мінералів, з утворенням гідросилікатів та гідроалюмінатів кальцію [4]. В дослідженнях використовували золу-винос із підвищеним вмістом  $\text{SiO}_2$ , що сприяло підвищенню початкової міцності цементного каменю.

Звісно, що хімічна активність золи-виносу безпосередньо пов'язана з її дисперсністю. Міцність цементів та бетонів із добавкою золи-виносу залежить від товщі поверхневого шару зольної частинки, яка зачеплена хімічними процесами. При введенні золи-виносу в литі пінобетонні суміші слід враховувати її низьку водопотребу, що позитивно відрізняє золу від інших дисперсних наповнювачів. Пінобетонні суміші із золою-виносом мають знижене водовідділення та достатньо високу життєздатність, що важливо при транспортуванні цих сумішей на значні відстані. Заміна частини цементу золою-виносом призводить до зменшення усадочних деформацій бетону. Зменшення усадки можна пояснити тим, що зола-винос адсорбує розчинні луки із цементу та утворює стійкі, нерозчинні алюмосилікати [4].

Потенціал золи-виносу в пінобетонних сумішах реалізується значно краще при введенні добавок суперпластифікаторів. Нами запропоновано використовувати як суперпластифікатор МЕЛМЕНТ Л 10 – добавку на основі сульфатованих меламін-формальдегідних смол. Щільність добавки 1,1 г/см<sup>3</sup>; рН 7–9. Ця добавка ефективна для отримання високорухомих та литих сумішей, які можна транспортувати на великі відстані.

Використання МЕЛМЕНТУ Л 10 у кількості 3–5% маси цементу дало змогу значно (до 345 мм осадки конуса) збільшити рухомість пінобетонної суміші без зменшення міцності бетону, знизити водовміст на 20% суміші при збереженні рухомості, поліпшити її легкоукладальність, скоротити витрати цементу при збереженні легкоукладальності та міцності пінобетону.

Комплексну полімерну добавку ВІННАПАС вирішено було додавати у пінобетонну суміш для покращання реологічних, міцностних та деформативних властивостей матеріалу. Насипна щільність добавки – 0,44–0,54 г/см<sup>3</sup>; рН 7. Додавання ВІННАПАС у кількості 2–3% маси цементу дало змогу підвищити міцність та водонепроникність пінобетону.

Для приготування пінобетонної суміші використовували піноутворювач БМП, призначений для приготування технічної піни для виробництва пінобетонів неавтоклавного твердіння. Його виготовляють із складників господарчого мила та гідролізату колагену (білка) і тому ця речовина нетоксична для довкілля. Концентрація робочого розчину – 0,75%. Щільність піни, що виробляється, 50 – 250 г/л. Водневий показник 0,75%-го водного розчину (рН) – не більше 8. Піноутворювач додавали у розчинному стані з водою концентрацією 0,75% і тому його втрати у 3–5 разів менші, ніж витрати інших відомих піноутворювачів.

Піноутворювач БМК забезпечує необхідний вміст повітря у бетоні та його рівномірне розповсюдження по всій масі у вигляді замкнутих чарунок, що дає змогу за низької робочої концентрації у розчинному стані з водою отримати піну високої якості. Стійкість суміші достатня для запобігання усадці пінобетонної маси до початку її тужавіння. Варіанти складів розробленої пінобетонної суміші наведено в табл. 1.

**1. Співвідношення компонентів різного складу суміші для виготовлення пінобетону**

Найменування компонентів	Співвідношення компонентів різного складу, м. ч.				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Портландцемент	44,0	45,1	46,2	47,3	48,4
Зола-винос	30,9	29,25	27,6	25,9	24,3
Піноутворювач БМК	0,1	0,13	0,15	0,18	0,2
Суперпластифікатор МЕЛМЕНТ Л 10	2,4	2,0	1,6	1,22	0,8
Полімерна добавка ВІННАПАС	1,1	1,22	1,35	1,5	1,6
Вода	21,5	22,3	23,1	23,9	24,7

На рис. 1 наведено кінетику тужавіння пінобетонної суміші за постійної рухливості.

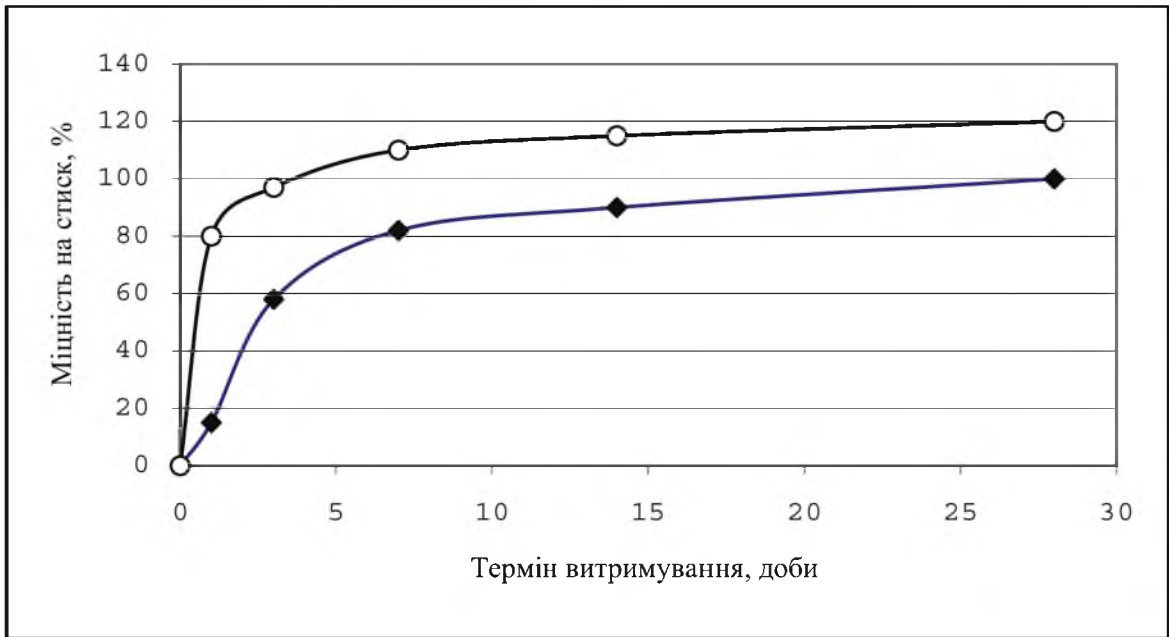


Рис. 1. *Кінетика тужавіння пінобетонної суміші:*

- ◆ – без золи-виносу та пластифікаторів;
- – розробленої рецептури

Як видно із рис. 1, введення суперпластифікатору МЕЛМЕНТ спільно з полімерною добавкою ВІННАПАС дає можливість отримати пінобетон, міцність якого активно зростає протягом перших 1–3 діб твердіння, що особливо актуально при використанні пінобетонних сумішей як тампонажних бетонних композицій.

Переваги розробленої суміші для виготовлення монолітного пінобетону підтверджуються результатами лабораторних досліджень. Розтічність суміші збільшується до 345 мм, що дуже важливо для транспортування пінобетонної суміші на великі відстані, міцність при стиску зростає до 3,3–3,7 МПа, міцність при згині – до 0,41–0,89 МПа за однакової рухливості бетонної суміші, а усадка під час висихання зменшується до 2–2,4 мм/м за сталої міцності при стиску і середній густині пінобетону.

Для виявлення впливу факторів рецептури на основні властивості тампонажного пінобетону та визначення шляхів

управління властивостями композиційного матеріалу було реалізовано чотирифакторний D-оптимальний план з 24 точками [5]. Варійованими факторами рецептури вибрано масові М співвідношення кожного з компонентів до маси портландцементу. Параметри оптимізації: розтічність полімерцементного розчину Р (см) та міцність при стиску  $R_{ст}$  (МПа).

Базовими компонентами пінополімерцементних композицій є: портландцемент Пц, зола-винос ТЕЦ Зв, піноутворювач Пу, полімерний модифікатор Пм та вода. Як полімерний модифікатор використовували суміш суперпластифікатора МЕЛМЕНТ Л 10 та полімерної добавки ВІННАПАС у співвідношенні 1:0,8. Завданням оптимізації складу такої композиції є одержання матеріалу, структура якого відповідала б вимогам за показниками міцнісних та реологічних характеристик. Дослідження проводили методом математичного планування експерименту (табл. 2–3).

## 2. Умови планування експерименту пінополімерцементних розчинів

Фактори	Рівні варіювання			Інтервали варіювання
	-1	0	+1	
М(В)/М(Пц), $X_1$	0,25	0,50	0,75	0,25
М(Пу)/М(Пц), $X_2$	0,025	0,05	0,075	0,025
М(Зв)/М(Пц), $X_3$	0,1	0,5	0,9	0,4
М(Пм)/М(Пц), $X_4$	0,05	0,1	0,15	0,05

## 3. Матриця планування та результати досліджень

№ до- сліду	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	Параметри оптимізації	
					розтічність Р, см	міцність при стиску $R_{ст}$ , МПа
1	2	3	4	5	6	7
1	+	+	+	+	29,2	2,8
2	+	+	+	-	26,0	1,8
3	+	+	-	+	32,0	3,1
4	+	+	-	-	30,1	1,5
5	+	-	+	+	25,0	2,9

1	2	3	4	5	6	7
6	+	-	+	-	23,0	2,0
7	+	-	-	+	34,0	2,6
8	+	-	-	-	31,7	1,7
9	-	+	+	+	20,0	3,0
10	-	+	+	-	19,0	1,9
11	-	+	-	+	22,5	2,5
12	-	+	-	-	21,0	1,6
13	-	-	+	+	20,5	3,7
14	-	-	+	-	19,4	2,5
15	-	-	-	+	26,3	4,2
16	-	-	-	-	25,5	2,7
17	+	0	0	0	33,0	2,3
18	-	0	0	0	21,4	4,1
19	0	+	0	0	27,0	3,2
20	0	+	0	0	26,7	4,3
21	0	0	+	0	23,5	3,9
22	0	0	-	0	31,4	3,1
23	0	0	0	+	31,9	4,6
24	0	0	0	-	26,2	2,4

**Результат.** Математичною обробкою експериментальних даних одержано рівняння регресії, які виражають залежність властивостей пінополімерцементних композицій від їхнього якісного та кількісного складу. Комплекс нелінійних експериментально-статистичних моделей відображує вплив чотирьох факторів —  $X_1, X_2, X_3, X_4$  — складу розробленого матеріалу на міцність при стиску,  $R_{ст} (Y_1)$  та розтічність,  $P (Y_2)$ :

$$\begin{aligned}
 Y\{R_{ст}\} = & 3,8 - 0,31 x_1 & - 0,55 x_1^2 & + 0,26 x_1 x_2 \\
 & - 0,29 x_2 & & + 0,08 x_2 x_3 \\
 & + 0,08 x_3 & - 0,3 x_3^2 & \\
 & + 0,63 x_4 & - 0,3 x_4^2 & 
 \end{aligned} \quad (1)$$



$$\begin{aligned}
 Y\{P\} = 28,4 & + 4,36 x_1 & - 1,3 x_1^2 & + 0,8 x_1 x_2 \\
 & - 0,29 x_2 & - 1,55 x_2^2 & - 0,5 x_1 x_3 \\
 & - 2,7 x_3 & - 0,95 x_3^2 & + 0,3 x_1 x_4 \\
 & + 1,25 x_4 & + 0,7 x_4^2 & + 1,14 x_2 x_3
 \end{aligned}
 \quad (2)$$

Діаграми зміни параметрів оптимізації, побудовані за експериментально-статистичними моделями (1) і (2), наведено на рис. 2 і 3.

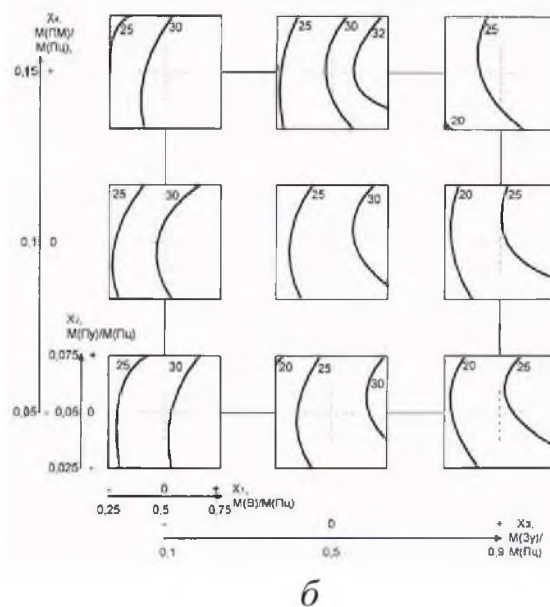
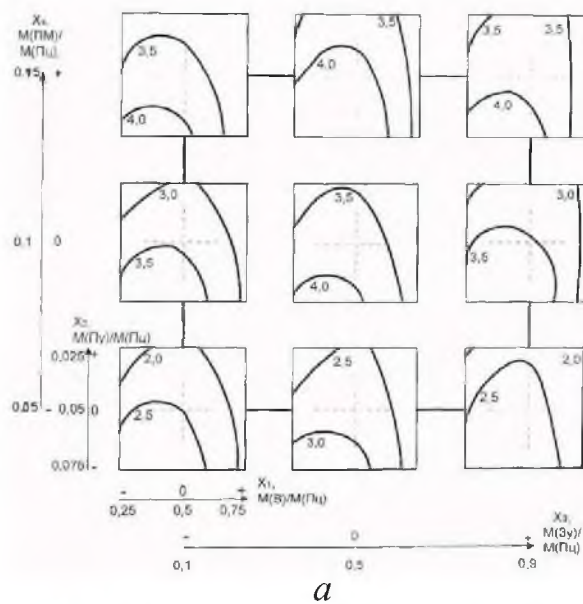


Рис. 2. Вплив рецептури на міцність при стиску (а) та розтічність пінополімерцементних композицій (б)

Аналіз суміщення діаграм наведено на рис. 3.

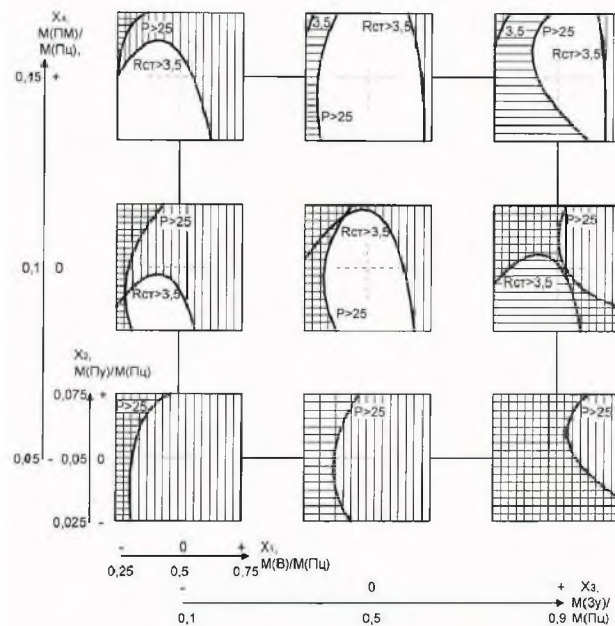


Рис. 3. *Визначення зони оптимальних складів*

Суміщення факторних просторів (рис. 3) дає змогу визначити зону, обмежену ізоповірхнею міцності,  $R_{ct} > 3,5$  МПа та ізоповірхнею розтічності,  $P > 25$  см. За максимального вмісту золи-виносу  $X_3$  оптимальна зона зміщується в область максимуму полімерного модифікатора  $X_4$ . На нижніх рівнях варіювання  $X_4$  зона оптимальних значень пінополімерцементних композицій відсутня.

Оптимальні склади модифікованих пінополімерцементних розчинів, м.ч.:

портландцемент	– 100
зола-винос	– 40 – 65
піноутворювач БМК	– 3 – 5,5
полімерний модифікатор	– 8 – 14
вода	– 30 – 60.

**Висновки.** Експериментально-статистичним моделюванням одержано функціональні залежності технологічних та міцнісних властивостей пінобетонних композицій від природи та кількості компонентів, що дало змогу визначити рівні

рецептурних факторів, які забезпечують отримання матеріалу із заданим комплексом характеристик. Результати експериментальних досліджень засвідчили, що розроблені пінобетонні композиції за своїми фізико-механічними та реологічними характеристиками (міцністю при стиску 3,0 – 3,7 МПа, міцністю при згині 0,41 – 0,89 МПа, розтічністю до 350 мм) відповідають вимогам до тампонажних матеріалів.

1. Пат. України № 77957. МПК F16L9/00. Корозійностійка напірна труба та спосіб її виготовлення / І.В. Войтович, А.І. Левченко, А.Н. Фененко, І.В. Ковтунович, В.І. Петроченко. – 15.02.2007/ 2007; Бюл. № 2.

2. Пат. України № 3275. МПК 7F16L58/10. Спосіб відновлення трубопроводів / І.В. Ковтунович, І.В. Войтович, А.Н. Фененко. – 15.11.2004 / 2004; Бюл. № 11.

3. Пат. України № 38838 МПК C04B 38/10. Суміш для виготовлення монолітного пінобетону / О.В. Коваленко, А.І. Левченко, О.О. Дехтяр. – 2009; Бюл. № 2.

4. Дворкин Л.И., Лихтман М.А. Литые золосодержащие бетоны // Энергетическое строительство. – 1989. – № 1. – С. 24 – 26.

5. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.

*Исследованы технологические и физико-механические свойства пенобетона на основе полимерцементов в зависимости от его состава. Определена область оптимальных составов разработанных композиций как тампонажных материалов для ремонта трубопроводов мелиоративных систем.*

*The technological and physical-mechanical properties of tamping foam concrete based on the polimercement depending on their compounding were investigated. The area of optimal formylas of the developed compositions as the tamping material for repairing pipelines of the reclamative systems was determined.*