

АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОМОНОЛІЧУВАЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЇХНЬОЇ РЕЦЕПТУРИ

О.В. КОВАЛЕНКО, А.Б. ШАРШУНОВ

Інститут гідротехніки і меліорації НААН

Наведено результати досліджень технологічних та фізико-механічних властивостей епокси-ізоціанатних омонолічувальних композицій залежно від їхнього кількісного та якісного складу. Оптимізовано рецептури розроблених композицій як ремонтно-відновлювальних матеріалів для залізобетонних конструкцій гідротехнічних споруд.

Ключові слова: омонолічувальні композиції, експериментально-статистичні моделі, ізопараметричний аналіз, фізико-механічні властивості

Проблема. Для відновлення експлуатаційної надійності гідротехнічних споруд меліоративних систем, які в процесі експлуатації зазнають значних руйнувань, при проведенні реконструкції та ремонтно-відновлювальних робіт необхідно використовувати матеріали, які за своїми фізико-механічними властивостями повинні перевищувати аналогічні показники конструкцій, що ремонтуються. Таким вимогам відповідають

© О.В. Коваленко, А.Б. Шаршунов, 2010
Меліорація і водне господарство. 2010. Вип. 98

композиційні матеріали на основі поліепоксидів та поліізоціанатів, які розроблено в лабораторії будівельних матеріалів і конструкцій Інституту гідротехніки і меліорації НААН [1–4].

Мета досліджень. У даній роботі наведено результати досліджень основних властивостей епокси-ізоціанатних (Е-І) омонолічувальних композицій (полімеррозчинів) з використанням комплексу експериментально-статистичних (ЕС) моделей та ізопараметричного (ІП) аналізу (дослідження поведінки матеріалу при постійності рівня деякої його властивості) завдяки застосуванню в обчислювальних експериментах методу Монте-Карло.

Методика досліджень. У дослідженнях застосовували епоксидну смолу марки ЕД-20, модифіковану олігоєфірепоксидом (лапроксид марки 707) – 100 м.ч. та амінний затверджувач марки УП-583Д – 18 м.ч.

В експерименті варіювалось дозування чотирьох компонентів (на 100 м.ч. епоксидної смоли): поліізоціанат (ПЦ) марки «Д», тонкомолотий цеоліт (Ц), кварцевий пісок (П), діабазове борошно (ДМ).

Для виявлення впливу рецептури на технологічні та фізико-механічні властивості Е-І омонолічувальних композицій у в'язкотекучому та отверділому стані було реалізовано чотирифакторний план з 18 дослідями.

Умови планування експерименту, матриця планування останнього та результати досліджень властивостей епокси-ізоціанатних полімеррозчинів наведено в табл. 1 і 2.

1. Умови планування експерименту

Фактори (вміст компонентів)	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
Поліізоціанат, X_1	0	5	10	5
Цеоліт, X_2	0	8	16	8
Пісок, X_3	50	175	300	125
Діабазове борошно, X_4	50	70	90	20

В експериментах досліджували: ефективну в'язкість суміші η (Па·с), міцність при стиску R_{ct} (МПа), міцність при згині

R_{II} (МПа), водопоглинання після 6 міс. витримування у воді W (%), коефіцієнт водостійкості як відношення $R_{зг}^0 / R_{зг}$ ($R_{зг}^0$ – міцність при згині зразків після 6 міс. витримування у воді, $R_{зг}$ – початкова міцність при згині).

2. Матриця планування експерименту та результати досліджень властивостей E-I полімеррозчинів

№ дослід-ду	x_1	x_2	x_3	x_4	Початкова в'язкість η , Па·с	Міцність, МПа		Водопоглинання W , %	Коеф. водостійкості K_w
						при стиску $R_{ст}$	при згині $R_{зг}$		
1	0	0	0	0	270	103,0	51,8	0,205	1,01
2	-	-	-	-	49	94,1	40,6	0,337	1,00
3	-	+	+	+	1314	104,2	51,8	0,180	0,96
4	+	-	+	+	1160	104,5	53,9	0,190	0,97
5	+	+	-	+	140	97,9	60,2	0,204	1,01
6	+	+	+	-	935	100,8	40,8	0,208	1,05
7	0	+	-	-	90	98,0	45,5	0,212	1,06
8	0	-	+	-	620	100,4	50,0	0,217	0,97
9	0	-	-	+	91	95,0	55,2	0,226	1,09
10	+	0	-	-	85	99,0	60,1	0,312	1,02
11	-	0	+	-	615	98,4	43,7	0,273	0,93
12	-	0	-	+	102	102,5	47,4	0,235	1,06
13	+	-	0	-	228	96,0	54,5	0,330	1,02
14	-	+	0	-	234	101,4	37,8	0,271	1,05
15	-	-	0	+	246	103,1	52,0	0,257	1,05
16	+	-	-	0	90	95,7	49,3	0,256	1,10
17	-	+	+	0	103	98,5	45,5	0,310	1,17
18	-	-	+	0	648	100,7	50,7	0,317	1,07

Математична обробка експериментальних даних дала змогу одержати наступні рівняння регресії, які виражають залежності властивостей композицій від їхнього складу:

$$Y \{\ln \eta\} = 5,65 + 0,12 x_1 - 0,06 x_1 x_2; \quad (1)$$

$$+ 0,19 x_2$$

$$+ 0,16 x_3$$

$$+ 0,22 x_4$$

$$Y\{R_{3r}\} = 51,4 + 3,43 x_1 - 2,60 x_1 x_3 - 1,67 x_1 x_4 - 1,47 x_2 - 2,25 x_2^2 - 2,30 x_2 x_3 - 3,64 x_4 + 1,43 x_2 x_4; \quad (2)$$

$$Y\{W\} = 0,207 - 0,018 x_1 + 0,065 x_1^2 - 0,026 x_2 - 0,009 x_2 x_3 - 0,024 x_3 - 0,037 x_4 - 0,018 x_4^2; \quad (3)$$

$$Y\{K_w\} = 1,03 - 0,02 x_1 x_4 + 0,04 x_2^2 - 0,04 x_3 - 0,05 x_4^2. \quad (4)$$

Моделі (1)–(4) можна проаналізувати за однофакторними залежностями. На рис. 1 і 2 наведено залежності, які побудовано за моделями (1)–(2). Діаграми впливу кожного фактора складу на властивості, що аналізуються, побудовано так, щоб вони проходили через екстремальні точки \min і \max .

Модель (1) описує повне поле ефективної в'язкості η (Па·с) і вплив складу композиції на в'язкість.

Вплив кожного фактора складу на ефективну в'язкість показано на однофакторних діаграмах, побудованих за даними структурованої ЕС-моделі (рис. 1). Основні узагальнюючі показники цього поля: $\eta_{\max} = 1485$ Па·с (при $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = +1$), $\eta_{\min} = 49$ Па·с (при $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = -1$).

На рис. 2, а і 2, б показано локальні поля η в координатах факторів поліізоціанату x_1 та цеоліту x_2 при середніх рівнях факторів вмісту піску $x_3 = 175$ м.ч. і діабазу $x_4 = 70$ м.ч. та в координатах x_3 (пісок) і x_4 (діабаз) при середніх рівнях факторів $x_1 = 5$ м.ч., $x_2 = 8$ м.ч. В цих умовах у першому разі (рис. 2, а) введення поліізоціанату та цеоліту збільшує в'язкість лише вдвоє, а в другому (рис. 2, б) в'язкість змінюється в 16 разів при введенні кварцевого піску і діабазового борошна.

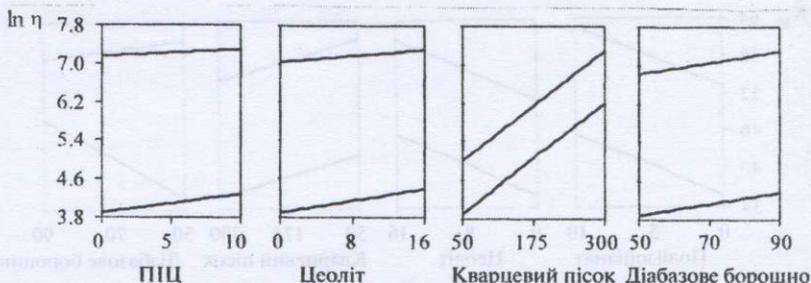


Рис. 1. Однофакторні залежності впливу рецептури на ефективну в'язкість Е-І полімеррозчинів

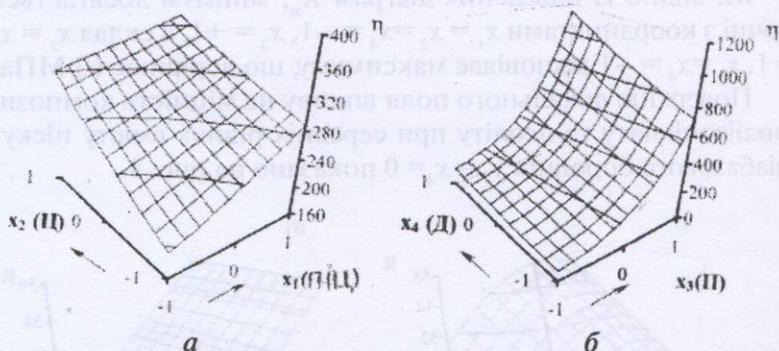


Рис. 2. Локальні поля в'язкості в координатах x_1 і x_2 при $x_3 = x_4 = 0$ (а) та в координатах x_3 і x_4 при $x_1 = x_2 = 0$ (б)

Модель (2) описує повне поле міцності при згині з узагальнюючими показниками: максимум $R_{gr \max} = 60,2$ МПа у складі з $x_1 = x_4 = +1, x_2 = +0,5, x_3 = -1$, мінімум $R_{gr \min} = 37,4$ МПа.

Однофакторні залежності міцності при згині від складу композиції наведено на рис. 3. Вплив кожного фактора складу на міцність при згині побудовано так, щоб вони проходили через екстремальні точки \min і \max .

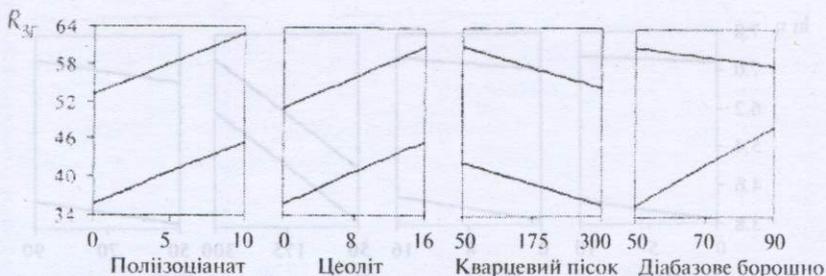


Рис. 3. Однофакторні залежності впливу рецептури на міцність при згині Е-І полімеррозчинів

Як видно із наведених діаграм R_{3f} , мінімум досягається в точці з координатами $x_1 = x_2 = x_4 = -1$, $x_3 = +1$, а склад $x_1 = x_2 = +1$, $x_3 = x_4 = -1$ відповідає максимуму, що дорівнює 63 МПа.

Поверхню локального поля впливу на міцність композиції поліізоціанату та цеоліту при середніх рівнях вмісту піску та діабазового борошна $x_3 = x_4 = 0$ показано на рис. 4.

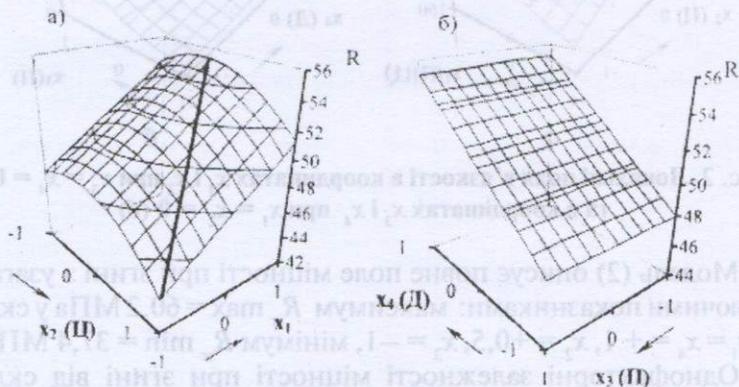


Рис. 4. Локальні поля міцності R_{3f} (МПа) в координатах при $x_3 = x_4 = 0$ (а) та при $x_1 = x_2 = 0$ (б)

За постійного зернового складу мінерального каркаса міцність при згині R_{3f} шляхом модифікації матриці збільшується за усередненим градієнтом до $R_{3f} \text{ max} \sim 55$ МПа або на $\Delta R_{3f} \sim 11$

МПа. Для цього вміст поліізоціанату повинен бути на верхньому рівні (10 м.ч.), а вміст цеоліту має бути не більше $x_2 \sim -0,5$ (близько 4 м.ч.).

Поверхню локального поля впливу вмісту мінеральних наповнювачів (діабазового борошна та піску) (при $x_1 = x_2 = 0$) показано на рис. 4, б.

Максимальну міцність $R_{зр, \max} = 55,2$ МПа ми досягнемо при високому вмісті діабазового борошна в композиті $x_4 = +1$.

За моделями (1), (2) і (3) побудовано діаграми у вигляді квадратів на квадраті, які описують вплив рецептури на ефективну в'язкість, міцність при згині та водопоглинання Е-І полімеррозчинів.

Як несучий вибрано квадрат із кварцевого піску x_3 і діабазового борошна x_4 . Вплив поліізоціанату x_1 і цеоліту x_2 показано на квадратах, які побудовано в дев'яти характерних точках. У полі несучого квадрата показано ізолінії максимальних значень ефективної в'язкості η (рис. 5), міцності при згині $R_{зр}$ (рис. 6), водопоглинання W (рис. 7), які можуть бути досягнуті за фіксованого співвідношення кварцевого піску і діабазового борошна.

Відповідно до вимог, що ставляться до ремонтно-відновлювальних полімеррозчинів, було визначено критерії оптимізації рецептури. Основні вимоги до оптимального складу Е-І полімеррозчину такі:

міцність при стиску $R_{ст}$, МПа, не менше	90;
міцність при згині $R_{зр}$, МПа, не менше	50;
в'язкість η , Па · с	150–500;
водопоглинання W , %, не більше	0,5;
коефіцієнт водостійкості K_w , не менше	0,9.

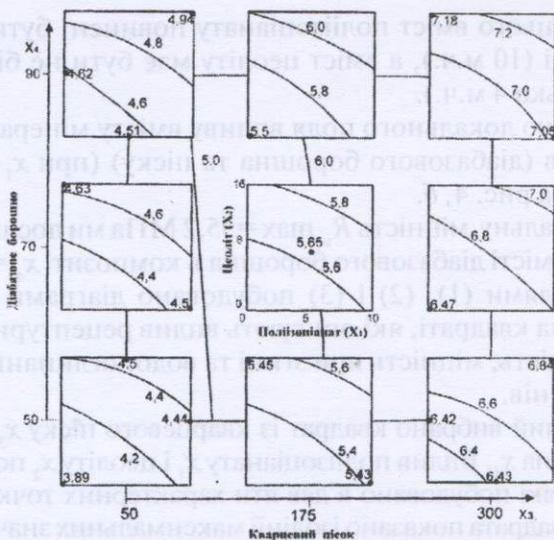


Рис. 5. Вплив рецептури на міцність при згині Е-І композиції

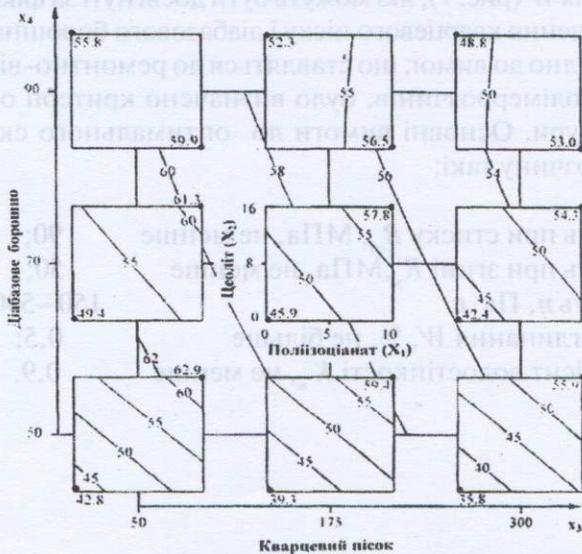


Рис. 6. Вплив рецептури на в'язкість Е-І композиції

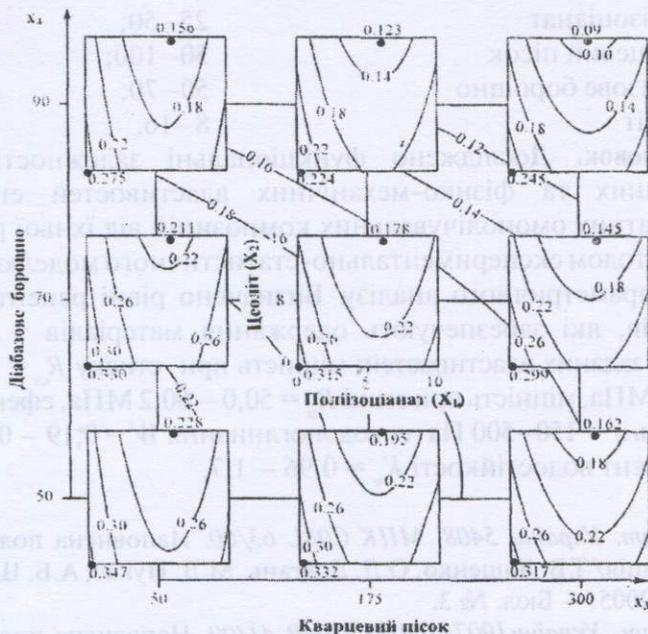


Рис. 7. Вплив рецептури на водопоглинання W E-I композицій, %

Аналіз результатів досліджень (див. табл. 2) показує, що всі склади E-I полімеррозчинів відповідають вимогам за міцністю при стиску, водопоглинанням та коефіцієнтом водостійкості. Тому оптимізацію рецептури проводили за двома критеріям: це «коридорні» обмеження ефективної в'язкості $150 \leq \eta \leq 500$ Па·с та вимоги до міцності при згині: $R_{зг} \geq 50$ МПа. Визначення факторного простору оптимальних складів проводили шляхом суміщення діаграм, які наведено на рис. 5 та рис. 6.

Оптимальні склади E-I омонолічувальних композицій, що відповідають вимогам за технологічними та фізико-механічними властивостями, м.ч.:

епоксидна смола ЕД-20	50–75;
лапроксид 703	25–50;
амінний затверджувач УП-583 Д	15–25;

поліізоціанат	25–50;
кварцевий пісок	50–100;
діабазове борошно	50–70;
цеоліт	8–16.

Висновок. Досліджено функціональні залежності технологічних та фізико-механічних властивостей епоксизоціанатних омонолічувальних композицій від їхньої рецептури методом експериментально-статистичного моделювання та ізопараметричного аналізу. Визначено рівні рецептурних факторів, які забезпечують одержання матеріалів з комплексом заданих властивостей: міцність при стиску $R_{cr} = 94,1 - 104,5$ МПа, міцність при згині $R_{зг} = 50,0 - 60,2$ МПа, ефективна в'язкість $\eta = 150 - 500$ Па·с, водопоглинання $W = 0,19 - 0,34$ %, коефіцієнт водостійкості $K_w = 0,96 - 1,7$.

1. Пат. України 5408, МПК C08L 63/00. Наповнена полімерна композиція / Т.В. Ляшенко, О.Д. Довгань, М.Д. Пукас, А.Б. Шаршунов. — 2005. — Бюл. № 3.

2. Пат. України 19073, МПК C04B 41/00. Наповнена полімерна композиція / А.Б. Шаршунов, М.Д. Пукас, Н.Д. Брюзгіна, В.О. Влащенко, С.П. Олійник. — 2006. — Бюл. № 12.

3. Пат. України 26905, МПК E04G 23/00. Спосіб ремонту будівельних конструкцій / А.Б. Шаршунов, О.О. Дехтяр, Т.В. Ляшенко, А.О. Гара, М.Д. Пукас, С.П. Олійник. — 2007. — Бюл. № 16.

4. Пат. України 38244, МПК C08L 63/00. Омонолічувальна полімерна композиція / О.В. Коваленко, А.Б. Шаршунов, М.Д. Пукас, Н.Д. Брюзгіна. — 2008. — Бюл. № 24.

Приведены результаты исследований технологических и физико-механических свойств эпокси-изоцианатных омоноличующих композиций в зависимости от их количественного и качественного состава. Оптимизированы рецептуры разработанных композиций как ремонтно-восстановительных материалов для железобетонных конструкций гидротехнических сооружений.

The results of researches of technological and physical-mechanical properties of epoxy-isocyanate compositions depending on their formulas are

presented. The formulas of developed compositions as repair- renovation materials for ferro-concrete construction of hydraulic structures were optimized.