

Братчун В.І., д.т.н.<sup>1</sup>, Кумейко Н.М., інж.<sup>2</sup>, Рибалко І.Ф., к.т.н.<sup>1</sup>

1 — ДонНАБА, м. Макіївка; 2 — АДІ ДонНТУ, м. Горлівка

## ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДІВ ДЬОГТЕБЕТОНІВ З РЕГУЛЬОВАНИМИ ТЕРМІНАМИ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ

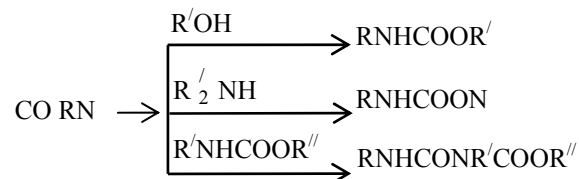
*Використовуючи метод математичного планування експерименту, оптимізовано склад дьогтебетону з регульованими термінами формування структури. У якості в'язучого використаний малов'язкий кам'яновугільний дьоготь, модифікований введенням активного дисперсного наповнювача та отверджувача.*

### Вступ

В дорожніх конструкціях холодні асфальто- і дьогтебетони використовують для створення тонких шарів зносу та захисних шарів, а також для виконання ремонтних робіт і улаштування верхнього конструктивного шару дорожнього одягу автомобільних доріг низьких категорій. Холодні суміші мають низьку енергоємність виробництва, зручність складування, технологічність обробки. Перевагою також є можливість виконувати дорожньо-будівельні роботи у вологу погоду за низької температури. Але холодні дьогтебетони характеризуються низькими показниками фізико-механічних властивостей, довгими строками формування структури бетону (до 30 діб) [1, 2].

### Виклад основного матеріалу дослідження

Одним з ефективних способів управління процесом формування структури холодного дьогтебетону є комплексна модифікація малов'язких кам'яновугільних дьогтів (дьогті марок Д-2, Д-3 згідно з ГОСТ 4641-80) комплексною добавкою, а саме: полізоціанатом та кубовими залишками фталевого ангідриду [2]. Це дозволяє використовувати для виробництва холодних дьогтебетонних сумішей кам'яновугільні дорожні дьогті в'язкістю  $C_{30}^{10}=10-50$  с і значно знизити температуру приготування дьогтебетонних сумішей (40-70 °С), а у результаті взаємодії полізоціанату RNCO з кубовими залишками дистиляції фталевого ангідриду (містить фталеву кислоту) і фенолвміщуючими і аміновміщуючими кам'яновугільного в'язучого по реакції 1 сформувати у часі структуровану систему у плівковому органічному в'язучому на поверхні мінеральних матеріалів бетону (утворюються поліуретани)



При проведенні експериментальних досліджень використовували такі матеріали:

**кам'яновугільний дьоготь** в'язкістю  $C_{30}^{10} = 15$  с (вміст: фенолів – 2,5%; нафталіну – 1%; фракційний склад: відганяється до температури 180 °С – 1,8 %, до 280 °С – 14%, до 300 °С – 24 %; температура розм'якшення остатку після відбору фракцій до 300 °С – 36 °С; втрати після чотирьох годин прогріву при 110 °С в шарі  $1 \cdot 10^{-3}$  м – 18,26 %);

**кубові залишки дистиляції фталевого ангідриду (КЗДФА)** Авдієвського коксохімічного заводу утворюються при термічній обробці та дистиляції фталевого ангідриду. Кубовий залишок – смола з домішкою від 40 до 60 % фталевого ангідриду  $C_8H_4O_3$ . Крім того у КЗДФА міститься фталева кислота, мінеральні речовини ( $CaCO_3$ , сульфати) від 1 до 7% і зо-

ла до 3% [1]. КЗДФА подрібнювали і просіювали крізь сито № 0,071; фізичні показники якості молотого КЗДФА: щільність  $1527 \text{ кг/м}^3$ ; зольність – 7,8 %; вміст вуглеводню  $C^C = 62,2\%$ ; вміст водню  $H^C = 3,1\%$ ; гідроксильних груп  $OH - 1,1 \text{ мгкв/г}$ ; коефіцієнт форми частинок 0,8-1,0; питома поверхня на межі розподілу фаз «тверда речовина – повітря»  $490 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;

**поліізоціанат (ПІЦ)** ( $R-N-C=O$ , група –  $NCO$  має лінійну структуру; довжина зв'язку  $N=C 0,119 \text{ нм}$  ( $1,19 \text{ \AA}$ ),  $C=O$  – зв'язку –  $0,118 \text{ нм}$  ( $1,18 \text{ \AA}$ ), кут між групами  $R-$  і  $NCO-$  може змінюватись від  $120^\circ$  до  $130^\circ$  в залежності від природи ізоціаната [2]). Ізоціанатна група у ІК – спектрі – в галузі  $220-250 \text{ мм}$ . Ізоціанат має великі дипольні моменти, суттєвий вклад в який вносить  $NCO-$  група; 4, 4', 4'' - трифенілметандіізоціанат, який використовувався у даній роботі, має температуру замерзання  $91^\circ\text{C}$ , показник переломлення  $n_D^{20} = 1,6150$  [3].

У зв'язку з тим, що на модифіковану дьогтев'язучу речовину в холодному дьогтебетоні діє сукупність факторів: концентрація поліізоціанату (ПІЦ), концентрація кубових залишків дистиляції фталевого ангідриду (КЗДФА), температура приготування в'язучого та бетонної суміші (табл. 1), то для оптимізації складу модифікованої композиції було застосовано метод експериментально-статистичного моделювання.

Таблиця 1

Значення факторів варіювання, які діють на систему “кам'яновугільний дьоготь – поліізоціанат – кубові залишки дистиляції фталевого ангідриду”

№ п/п	Код фактора	Фізичний смисл фактора	Одиниця вимірювання	Інтервал варіювання	Рівні фактора		
					-1	0	+1
1.	$X_1$	Температура приготування в'язучого та суміші	$^\circ\text{C}$	15	40	55	70
2.	$X_2$	Масова концентрація ПІЦ	%	2	2	4	6
3.	$X_3$	Масова концентрація КЗДФА	%	5	5	10	15

Параметри оптимізації системи “кам'яновугільний дьоготь – поліізоціанат – кубові залишки дистиляції фталевого ангідриду” наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Параметри оптимізації складу модифікованої в'язучої речовини дрібнозернистого дьогтебетону (тип В) та їх граничні значення

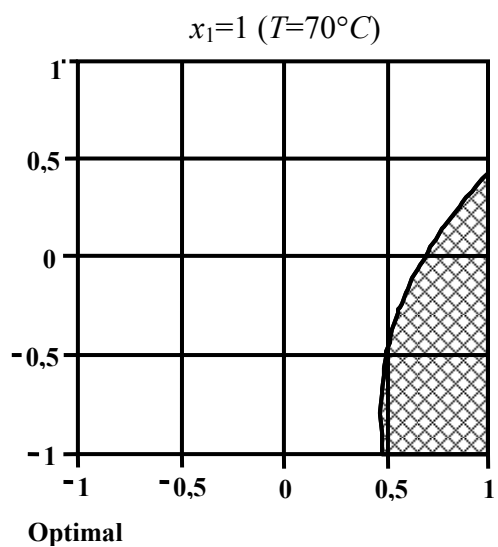
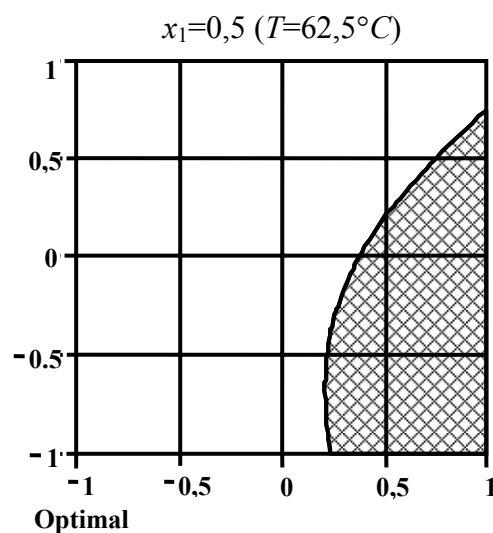
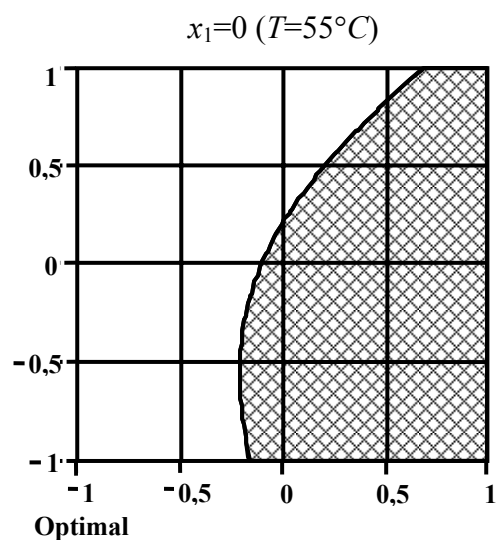
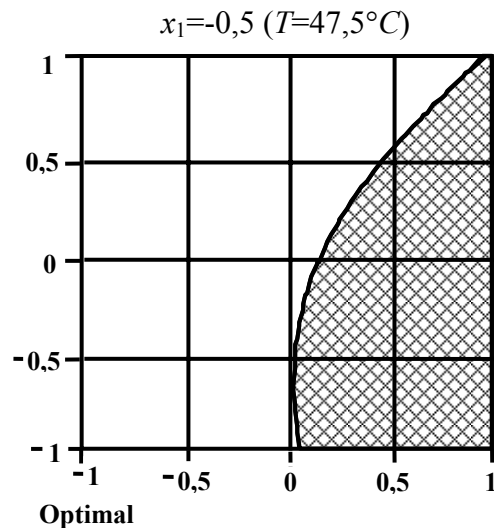
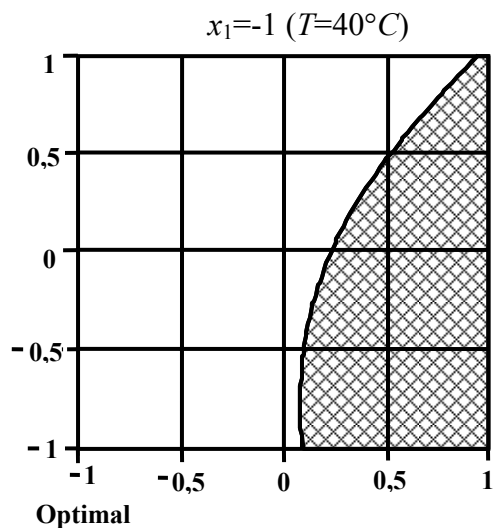
№ п/п	Код параметру оптимізації	Фізичний смисл параметру	Розмірність	Граничне значення функції відклику
1.	$Y_1$	Межа міцності при стиску при $0^\circ\text{C}$ , $R_0$	$\text{МПа}$	не більше 13
2.	$Y_2$	Межа міцності при стиску при $20^\circ\text{C}$ , $R_{20}$	$\text{МПа}$	не менше 2,2
3.	$Y_3$	Межа міцності при стиску при $50^\circ\text{C}$ , $R_{50}$	$\text{МПа}$	не менше 0,9
4.	$Y_4$	Коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні, $K_{вод}$	—	не менше 0,7

Використано план Бокса ( $B_3$ ) [4]. Статистична обробка результатів експерименту та визначення коефіцієнтів рівнянь регресії виконано за допомогою пакета MathCAD 7.0. Отримано рівняння регресії у вигляді неповних поліномів (1-3) і повного полінома (4) другого ступеня. Матрицю планування експерименту та його результати наведено в табл. 3. Область оптимальних складів дьогтев'язучої речовини та температурних режимів приготування в'язучого та суміші наведено на рис. 1.

Таблиця 3

Матриця планування та результати експерименту

№ п/п	Значення факторів варіювання в кодованих і натурних значеннях			Межа міцності при стиску, $R$ , МПа, при			Коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасищенні, $K_{\text{вв}}$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$0^\circ\text{C}, R_0$	$20^\circ\text{C}, R_{20}$	$50^\circ\text{C}, R_{50}$	
1	+1 (T=70°C)	-1 (2% ППЦ)	-1 (5% КЗДФА)	3,737	1,990	0,717	0,627
2	-1 (T=40°C)	+1 (6% ППЦ)	-1 (5% КЗДФА)	5,323	3,977	2,523	0,937
3	-1 (T=40°C)	-1 (2% ППЦ)	+1 (15% КЗДФА)	4,397	2,783	1,040	0,547
4	+1 (T=70°C)	+1 (6% ППЦ)	+1 (15% КЗДФА)	6,870	4,368	2,837	0,573
5	+1 (T=70°C)	-1 (2% ППЦ)	+1 (15% КЗДФА)	5,323	2,702	1,062	0,602
6	-1 (T=40°C)	+1 (6% ППЦ)	+1 (15% КЗДФА)	5,733	4,203	2,235	0,707
7	+1 (T=70°C)	+1 (6% ППЦ)	-1 (5% КЗДФА)	6,117	4,542	2,783	0,850
8	-1 (T=40°C)	-1 (2% ППЦ)	-1 (5% КЗДФА)	3,590	1,690	0,760	0,533
9	+1 (T=70°C)	0 (4% ППЦ)	0 (10% КЗДФА)	5,390	3,080	1,565	0,622
10	-1 (T=40°C)	0 (4% ППЦ)	0 (10% КЗДФА)	5,523	3,513	1,703	0,687
11	0 (T=55°C)	+1 (6% ППЦ)	0 (10% КЗДФА)	6,303	4,050	2,150	0,848
12	0 (T=55°C)	-1 (2% ППЦ)	0 (10% КЗДФА)	4,897	3,847	1,817	0,647
13	0 (T=55°C)	0 (4% ППЦ)	+1 (15% КЗДФА)	6,183	4,610	2,560	0,667
14	0 (T=55°C)	0 (4% ППЦ)	-1 (5% КЗДФА)	5,588	3,903	1,697	0,617
15	0 (T=55°C)	0 (4% ППЦ)	0 (10% КЗДФА)	5,873	3,957	1,857	0,655



$$X_1 = 55 + 15 \cdot x_1 \quad (1)$$

$$X_2 = 4 + 2 \cdot x_2 \quad (2)$$

$$X_3 = 10 + 5 \cdot x_3 \quad (3)$$

Рис. 1. Область оптимальних складів дьогтев'яжучої речовини. Перехід від кодovаних значень факторів до натурних здійснюється за формулами (1, 2, 3)

$$Y_1 = 5,891 + 0,287x_1 + 0,840x_2 + 0,415x_3 + 0,107x_1x_2 - 0,154x_2x_3 + \\ + 0,140x_1x_3 - 0,447x_1^2 - 0,304x_2^2 \quad (1)$$

$$C = 0,894$$

$$Y_2 = 4,066 + 0,813x_2 + 0,256x_3 - 0,219x_2x_3 - 0,098x_1x_3 - 0,796x_1^2 - \\ - 0,145x_2^2 + 0,164x_3^2 \quad (2)$$

$$C = 0,746$$

$$Y_3 = 1,959 + 0,070x_1 + 0,713x_2 + 0,125x_3 + 0,110x_1x_2 - 0,108x_2x_3 + \\ + 0,051x_1x_3 - 0,351x_1^2 + 0,143x_3^2 \quad (3)$$

$$C = 0,920$$

$$Y_4 = 0,677 - 0,014x_1 + 0,096x_2 - 0,047x_3 - 0,046x_1x_2 - 0,062x_2x_3 + \\ + 0,011x_1x_3 - 0,028x_1^2 + 0,065x_2^2 - 0,041x_3^2 \quad (4)$$

$$C = 0,951$$

### **Висновки**

Таким чином, як свідчать дані, що наведені у табл. 3, на рис. 1 і в рівняннях 1-4 найбільший вплив на структурування матриці внесе поліізоціанат, а при оптимальному сполученні керуючих факторів (табл.1): температура 50-55 °С – концентрація поліізоціаната 4-6 % – концентрація кубових залишків дистиляції фталевого ангідриду 10-15 % досягаються максимальні значення параметрів оптимізації модифікованого дьогтебетону з регульованими термінами формування структури.

### **Список літератури**

1. Козлова Е.Н. Холодный асфальтобетон. — М.: Автотрансиздат, 1958. — 121 с.
2. Братчун В.И., Золотарев В.А. Модифицированные дегти и дегтебетоны повышенной долговечности. — Макеевка: МОН Украины, ДонГАСА, 1998. — 226 с.
3. Энциклопедия полимеров/ В.А. Каргин, М.С. Акутин, Е.В. Вонский и др. — М.: Советская энциклопедия, 1972. — Т 1. — 1224 с.
4. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. — 2-е изд. — М.: Финансы и статистика, 1981. — 263 с.

Стаття надійшла до редакції 21.11.06  
© Братчун В.І., Кумейко Н.М., Рибалко І.Ф., 2006