

УДК 625.72

О.І. Повзун¹, С.В. Кононихін², В.О. Лещинський³¹КІП ДВНЗ «ДонНТУ», м. Красноармійськ, Україна, povzun@meta.ua²КІП ДВНЗ «ДонНТУ», м. Красноармійськ, Україна, ksv1944@mail.ru³ХНУРЕ, м. Харків, Україна, V.Leshchinsky@kture.kharkov.ua

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ «ДЬОГОТЬ-ПОЛІСТИРОЛ» НА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОМУ РІВНІ

У статті проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію інтелектуальної системи «дьоготь – полістирол». Розраховано й побудовано тривимірні діаграми параметр оптимізації системи – фактори варіювання. За допомогою методів математичного планування експерименту визначені оптимальні концентрації полістиролу в дьогті відповідно до його в'язкості та термін приготування дьогтеполістирольного в'язучого.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ВАРІЙОВАНІ ФАКТОРИ, ПАРАМЕТРИ ОПТИМІЗАЦІЇ, ФУНКЦІЯ ВІДКЛИКУ

Вступ

Нещодавно кам'яновугільні дьогті були основним в'язучим у дорожньому будівництві України. Однак наразі вони майже повністю витиснуті, оскільки за своїми технічними показниками поступаються дорожнім нафтовим бітумам. Не останню роль відіграє більш висока летючість дьогтів і, як наслідок, більша токсичність і помітніше забруднення навколишнього середовища під час виробництва і використання дьогтебетонів.

Одним з ефективних технологічних засобів поліпшення властивостей кам'яновугільних дьогтів є введення до їх складу у невеликій кількості полімерів або їх відходів.

Основна ціль введення полімеру в органічне в'язуче – зниження температурної чутливості в'язучого, тобто підвищення його жорсткості влітку і зменшення взимку. Друга ціль – надання в'язучому еластичності (здатності до відновлення початкових розмірів і форми при розвантаженні після значної деформації). Якщо ці цілі досягнуті, то дорожньо – будівельний матеріал на основі полімерорганічної в'язучої речовини має підвищені стійкість проти утворення залишкової деформації (колії) літом, поперечних температурних тріщин зимою та втомну тріщиностійкість (витривалість) при повторному вигині.

До найпоширеніших полімерів для модифікації органічних в'язучих відносяться поліетилен, полістирол, полівінілхлорид, SBS (стирол – бутадієн – стирол) тощо.

З усіх перелічених у даній роботі полімерів, які застосовують для поліпшення якості кам'яновугільних дьогтів, оптимізацію системи «дьоготь – полімер» здійснено лише для відходів полівінілхлориду (ПВХ) [1], математичне моделювання якого детальніше надано в [2]. Для цього було використано рівномірний симетричний квазі-ортогональний план для п'яти факторів на п'ятьох цілочисельних рівнях (-2; -1; 0; +1; +2) [3 – 5].

В роботі [6] надано технологічні режими приготування дьогтеполістирольних в'язучих (ДПВ),

але оптимізацію їх і складів ДПВ за допомогою методів математичного планування експерименту не було виконано.

Постановка задач дослідження. Розділяючи дорожню конструкцію на окремі шари, можна зазначити, що найбільш проблемною ділянкою є її основа. Наразі найпоширенішим типом дорожніх основ є щебеневі основи. Порівняно з основами з матеріалів і ґрунтів, укріплених цементом, щебеневі основи мають такі переваги, як відсутність потреби в змішувальних установках; висока технологічність, обумовлена можливістю тривалого зберігання в притрасових штабелях або безпосередньо на дорозі; допустимість транспортування і укладання в негоду; допустимість після розклинцівки і ущільнення основи відкриття по ній автомобільного руху і використання його як тимчасове покриття (стадійне будівництво); зручність під час виконання ремонтних робіт і реконструкції без перекриття автомобільного руху; просторова однорідність шару, що унеможливорює появу на зверху влаштованому асфальтобетонному покритті “відзеркалених тріщин”. Однак за всіх перелічених переваг даного типу основ на практиці рідко реалізуються потенційні можливості щебених матеріалів у підвищенні міцності дорожнього одягу.

Впродовж багатьох років при нормуванні вимог до щебеню для дорожніх основ фахівці керувались уявленнями про вплив міцності породи: чим міцніший камінь, тим вище якість основи. Але насправді міцність каменя впливає на модуль пружності значно менше, ніж щільність укладання щебеню, яка у менш міцного каменя, що легко ущільнюється, виявляється вищою. Жорсткість ущільненого шару щебеню залежить від жорсткості контактів його окремих зерен; тому загальна пружна деформація від дії зовнішніх навантажень складається з елементарних пружних зближень пари зерен, що стикаються. У щебеню, що легко ущільнюється, площадки контактів зерен, утворених під час ущільнення, більші і, отже, пружні зближення пари зерен менше, ніж щебеню, що

важко ущільнюється. Цим і пояснюються вищі модулі пружності зі щебеню, що легко ущільнюється.

В цілому, основа дорожнього одягу, виконана з зернистого матеріалу (щебеню), не має достатньої жорсткості, що призводить до залишкових деформацій і перенапруженню в покриттях автомобільних доріг. Досвід будівництва і експлуатації дорожніх одягів з основами з укріплених кам'яних матеріалів свідчить про значну їх перевагу перед основами зі щебеню. До того ж, дрібнозерниста органомінеральна суміш додатково сприяє збільшенню площадок контактів між крупнішими зернами.

Метою даної роботи є розроблення математичної моделі для оптимізації системи «дьоготь – полістирол» на інтелектуальному рівні, отримуючи дьогтеполістирольне в'язуче, яке за фізико – механічними властивостями і екологічними характеристиками наближатиметься до бітуму нафтового дорожнього.

Використовуючи метод математичного планування експерименту, *задачами дослідження* є:

1. Визначення оптимальної умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} , с (секунди):

10 – діаметр стічного отвору, мм;

30 – температура витікання 50 мл в'язучого на стандартному віскозиметрі, °С.

2. Визначення оптимальної концентрації полістиролу в кам'яновугільних дьогтях різної в'язкості;

3. Визначення оптимального терміну виготовлення дьогтеполістирольного в'язучого (тобто раціонального часу суміщення полістиролу з дьогтем під час перемішування даної суміші).

Викладення основного матеріалу та результати

В даній роботі як об'єкт дослідження було прийнято:

– середовище, що модифікується, – кам'яновугільні дьогті – складені з середньо-температурного пеку і антраценового масла, що відповідають вимогам ГОСТ 4641;

– полімер – полістирольний пил (ПС) ВАТ «Концерн «Стирол» (м. Горлівка Донецької області) – відхід виробництва цехів суспензійної полімеризації стирулу, що утворюється під час відстоювання стічних вод. Він являє собою дрібнодисперсний порошок з максимальною крупністю частинок не більш за $6,3 \cdot 10^{-5}$ м. Істинна густина цих відходів дорівнює $1050 - 1100 \text{ кг/м}^3$, а насипна густина становить $650 - 720 \text{ кг/м}^3$; молекулярна маса – $9 \cdot 10^4$ в.о.

Дьогтеполімерне (дьогтеполістирольне) в'язуче (ДПВ) готували суміщенням кам'яновугільних дьогтів з полімером (від 0 % до 10 %) при температурі 105-110 °С впродовж 15–150 хвилин [6].

Для визначення оптимальної концентрації полістиролу в кам'яновугільних дьогтях різних в'язкостей і оптимального терміну виготовлення дьогтеполістирольних в'язучих було прийнято композиційний несиметричний план на трьох цілочисельних рівнях (-1; 0; +1).

Оптимальні склади систем «дьоготь – ПС» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів X_1, X_2, X_3 (табл.1).

Таблиця 1

Значення варійованих факторів

Система		Фізичний зміст фактора			
		Умовна в'язкість дьогтю за C_{30}^{10} , с	Масова концентрація полістиролу, %	Час приготування дьогтеполістирольного в'язучого, хвил.	
		X_1	X_2	X_3	
Дьоготь-ПС	Інтервал варіювання	100	5	70	
	Рівні фактора	-1	50	0	5
		0	150	5	75
	+1	250	10	145	

Ці оптимальні області обмежені поверхніми рівня функції відклику за кожним з параметрів оптимізації (табл. 2).

Таблиця 2

Параметри оптимізації системи

№ з.п.	Код параметра оптимізації	Фізичний зміст параметра оптимізації	Одиниці виміру	Граничні значення функції відклику
1	Y_1	Температура розм'якшення в'язучого	°С	Не менше 33
2	Y_2	Еластичність в'язучого при 0°С	%	Не менше 25
3	Y_3	Розтяжність в'язучого при 0°С	м	Не менше 0,9
4	Y_4	Водонасичення дьогтеполімербетону	%	Не більше 2,0
5	Y_5	Границя міцності дьогтеполімербетону на стиск при 20°С	МПа	Не менше 2,2
6	Y_6	Коефіцієнт тривалої водостійкості дьогтеполімербетону	-	Не менше 0,75

Матриця планування експерименту і отримані значення параметрів оптимізації надані в табл. 3.

Таблиця 3

Матриця плану експерименту і отримані значення параметрів оптимізації

№ зп	X_1	X_2	X_3	Y_{11}	Y_{12}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{31}	Y_{32}	Y_{41}	Y_{42}	Y_{51}	Y_{52}	Y_{61}	Y_{62}
1	-1	-1	-1	10	12	0	0	0,98	1,00	3,0	3,6	1,5	1,7	0,3	0,5
2	0	-1	0	18	22	0	0	1,00	0,96	2,2	1,8	2,5	2,1	0,7	0,5
3	1	-1	1	22	24	0	0	0,01	0,03	1,9	2,1	2,2	2,6	0,8	0,6
4	-1	0	0	21	25	26	24	1,00	0,96	2,2	1,8	2,5	2,1	1,0	0,6
5	0	0	1	29	25	2	4	0,03	0,01	1,7	2,3	2,1	2,7	0,7	0,9
6	1	0	-1	31	35	13	11	1,00	0,97	3,1	3,5	1,4	1,8	0,6	0,4
7	-1	1	1	29	25	4	2	0,01	0,03	2,2	1,8	2,6	2,2	0,7	0,9
8	0	1	-1	33	29	10	14	0,06	0,04	3,6	3,0	1,8	1,2	0,7	0,5
9	1	1	0	33	37	9	7	0,97	1,00	2,2	1,8	1,8	1,4	0,5	0,9
10	-1	-1	1	12	10	0	0	0,04	0,02	1,7	2,3	2,1	2,7	0,6	0,4
11	1	-1	-1	20	24	0	0	0,96	1,00	3,6	3,0	1,2	1,8	0,7	0,5
12	-1	1	-1	26	28	7	9	1,00	0,97	3,1	3,5	1,8	1,4	0,4	0,6
13	1	1	1	37	33	4	2	0,03	0,01	1,8	2,2	2,7	2,1	0,9	0,7

За критерій оптимальності плану прийнято критерій Д – оптимальності, який пов’язаний з мінімізацією об’єму еліпсоїду розсіювання оцінок параметрів рівнянь регресії [7]. З урахуванням критерію оптимальності було побудовано план експерименту (табл. 4).

Таблиця 4

Матриця планування експерименту

№ зп	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ ·X ₂	X ₁ ·X ₃	X ₂ ·X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	-1	0	0	0	0	0	1	0
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1
4	1	-1	0	0	0	0	0	1	0	0
5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
6	1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
8	1	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1
9	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0
10	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1
11	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
12	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Для створеного плану експерименту (табл. 4) за методом найменших квадратів обчислено коефіцієнти рівнянь регресії за виразом [8]

$$b_i = (X^* \cdot X)^{-1} \cdot X^* \cdot Y, \quad (1)$$

де b_i – коефіцієнт рівняння регресії; X – матриця плану експерименту; X^* – транспонована матриця плану експерименту; $(X^* \cdot X)^{-1}$ – матриця, обернена до добутку матриці плану експерименту на його транспоновану матрицю; Y – вектор – стовпець результатів експерименту.

Обробка результатів експерименту і визначення коефіцієнтів рівнянь регресії з урахуванням їх значущості дозволили одержати поліноміальні моделі.

Статистичний аналіз отриманих результатів включає перевірку двох статистичних гіпотез:

- про значущість отриманих коефіцієнтів моделі;
- про адекватність представлення результатів експерименту здобутих рівнянням регресії [8], [9].

Коефіцієнти рівняння регресії підставлені в поліноміальну форму вигляду

$$Y_1 = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2. \quad (2)$$

Для кожного з параметрів оптимізації за формулою (1) знайдено коефіцієнти регресії, які підставлені в рівняння (2). Рівняння регресії для кож-

ного параметра оптимізації мають такий вигляд:

$$Y_1 = 28,97 + 4,90X_1 + 6,79X_2 + 0,003X_3 - 1,03X_1X_2 + 0,06X_1X_3 - 0,014X_2X_3 - 0,70X_1^2 - 3,24X_2^2 - 1,22X_3^2; \quad (3)$$

$$Y_2 = 14,9 - 1,09X_1 + 3,39X_2 - 2,28X_3 - 0,24X_1X_2 + 0,054X_1X_3 - 2,07X_2X_3 + 3,91X_1^2 - 9,65X_2^2 - 6,24X_3^2; \quad (4)$$

$$Y_3 = 0,879 - 0,010X_1 - 0,098X_2 - 0,384X_3 - 0,043X_1X_2 + 0,046X_1X_3 + 0,089X_2X_3 + 0,311X_1^2 - 0,135X_2^2 - 0,614X_3^2; \quad (5)$$

$$Y_4 = 2,0 - 0,65X_3 + 4,55X_1X_3 + 9,08X_2X_3 + 31,50X_1^2 - 13,74X_2^2 + 0,65X_3^2; \quad (6)$$

$$Y_5 = 2,222 - 0,083X_1 - 0,075X_2 + 0,426X_3 - 0,062X_1X_2 + 0,050X_1X_3 + 0,033X_2X_3 - 0,072X_1^2 - 0,130X_2^2 - 0,086X_3^2; \quad (7)$$

$$Y_6 = 0,789 - 0,025X_1 - 0,058X_2 + 0,106X_3 - 0,057X_1X_2 + 0,014X_1X_3 + 0,048X_2X_3 - 0,036X_1^2 - 0,069X_2^2 - 0,091X_3^2. \quad (8)$$

Одержані рівняння регресії адекватні і задовольняють критерію Фішера; результати їх обробки представлені в табл. 5.

Відповідно до отриманих рівнянь регресії (3) – (8) побудовано поверхні відклику (рис. 1 – рис. 6), які показують залежність відповідного параметра оптимізації ($Y_1 - Y_6$) від умовної в’язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1), масової концентрації полістиролу (X_2) і часу приготування дьогтеполістирольного в’язучого (X_3).

З підвищенням умовної в’язкості дьогтю (X_1) від 50 с до 250 с за C_{30}^{10} і масової концентрації полістиролу (X_2) від 0 % до 10 % температура розм’якшення в’язучого (Y_1) зростає від 10 °С до 40 °С за майже прямою пропорційною залежністю (рис. 1, а). Зі збільшенням часу приготування дьогтеполістирольного в’язучого (X_3) від 5 хвил. до 145 хвил. вона зростає від 28 °С до 32 °С (рис. 1, б). Рисунок 1, в підтверджує закономірності, показані на рис. 1, а і рис. 1, б.

Максимальну еластичність (20 %) при 0 °С (Y_2) (рис. 2) і розтяжність (близько 1 м) при 0 °С (Y_3) (рис. 3) в’язуче має при масовій концентрації по-

Таблиця 5

Статистичні показники результатів обробки отриманих експериментальних даних

Показники	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆
Сума дисперсій	26	11	30	0,47	0,52	0,11
Дисперсія досліду середня	5,333	0,846154	5,6667	0,1	0,1111	0,02333
Сума дисперсій моделі	4,8087	107,47	2665,4	0,00191	0,14103	0,02389
Дисперсія адекватності	0,3699	8,2668	205,03	0,00147	0,01084	0,00183
F _{Фішера} = D _{досл.} /D _{адекв.}	14,418	0,1023	0,0276	16,8	10,2420	12,6938

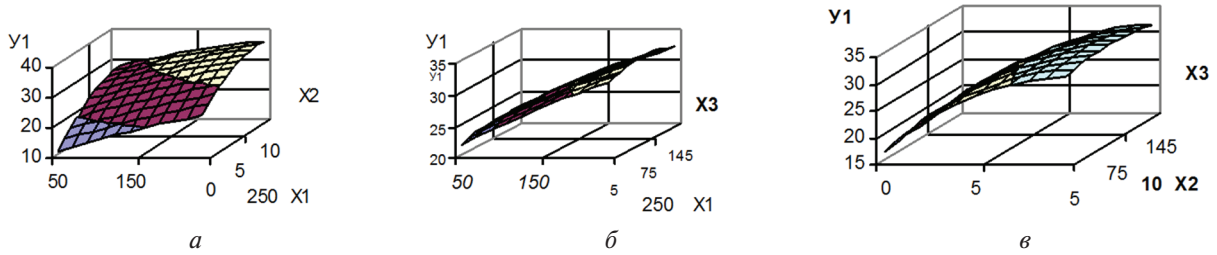


Рис. 1. Залежність температури розм'якшення в'язучого, °С (Y_1) від:

- a* – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
- б* – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
- в* – масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

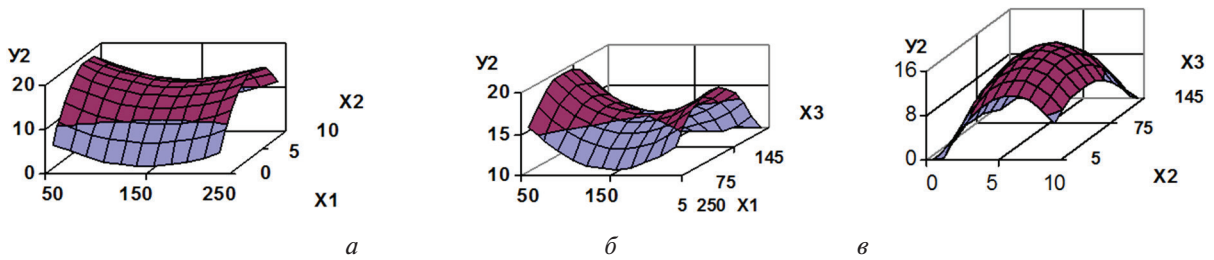


Рис. 2. Залежність еластичності в'язучого при 0 °С, % (Y_2) від:

- a* – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
- б* – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
- в* – масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

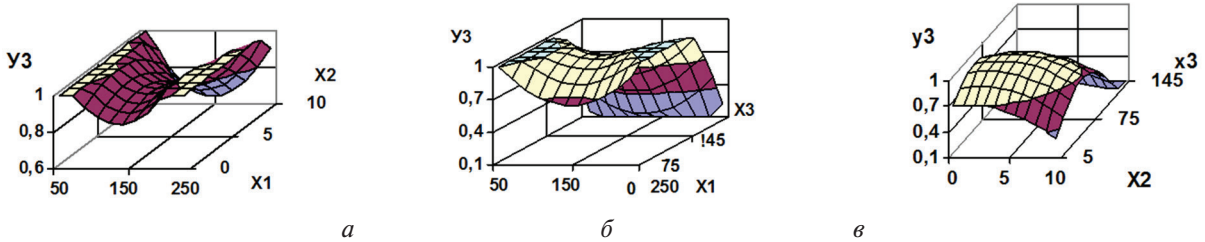


Рис. 3. Залежність розтяжності в'язучого при 0 °С, м (Y_3) від:

- a* – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
- б* – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
- в* – масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

лістиролу (X_2) 5 % та часі приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3) впродовж 75 хвилин.

При збільшенні часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3) від 5 хвилин до 75 хвилин водонасичення дьогтеполімербетону (Y_4) зменшується з 3,3 % до 2% (рис. 4). Подальше суміщення полістиролу з кам'яновугільним дьогтем не призводить до зміни даного параметра оптимізації. Зростання умовної в'язкості дьогтю (X_1) від

50 с до 250 с за C_{30}^{10} і масової концентрації полістиролу (X_2) від 0 % до 10 % не змінює водонасичення дьогтеполімербетону (Y_4).

Тривимірна діаграма рис. 4, *a* відсутня, тому що коефіцієнти рівняння регресії (6) при X_1 та X_2 дорівнюють 0. Це означає, що на водонасичення дьогтеполімербетону ці фактори не впливають.

Поверхня функції відклику границі міцності дьогтеполімербетону на стиск при 20°C, МПа (Y_3)

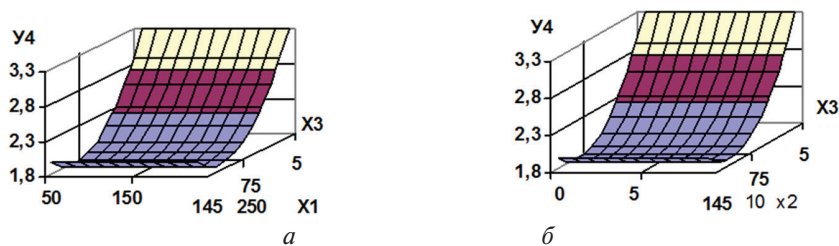


Рис. 4. Залежність водонасичення дьогтеполімербетону, % (Y_4) від:

- a* – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
- б* – масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

проходить через екстремум (майже при 2,3 МПа) при умовній в'язкості дьогтю 150 с за C_{30}^{10} (X_1) та масовій концентрації полістиролу (X_2) 5% (рис. 5, а). З підвищенням часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3) від 5 хвилин до 145 хвилин зазначений параметр оптимізації змінюється з 1,5 МПа до 2,5 МПа майже лінійно (рис. 5, б, в).

Коефіцієнт тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) досягає екстремального значення (0,78) при умовній в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) 75 с та масовій концентрації полістиролу (X_2) 10% (рис. 6, а). Збільшення умовної в'язкості дьогтю (X_1) з 50 с до 250 с за C_{30}^{10} без полімеру (нульова масова концентрація полістиролу X_2) за майже прямою пропорційною залежністю призводить до зростання коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) від 0,55 до 0,7 (лише в кінці зазначеного діапазону поверхня функції відкику стає пологою). Підвищення часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3) з 5 хвилин до 145 хвилин сприяє збільшенню коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) від 0,55 до максимального значення 0,85 при умовній в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) 250 с та масовій концентрації полістиролу (X_2) 10% (рис. 6, б, в).

Отже, враховуючи граничні значення функцій відкику всіх параметрів оптимізації ($Y_1 - Y_6$), можна зазначити, що оптимальною системою «дьоготь – полістирол» буде при умовній в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) 75 – 250 с, масовій концентрації полістиролу (X_2) 4,0–6,0% та часі приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3) впродовж 70–80 хвилин.

Висновки

Вперше проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію системи «дьоготь – полістирол». За допомогою методів математичного планування експерименту на підставі розробленої математичної моделі та розрахованих й побудованих тривимірних діаграм «параметр оптимізації системи – фактори варіювання» доведено, що оптимальними концентраціями полістиролу в кам'яновугільних дьогтях є 4,0 – 6,0% відповідно до їхніх в'язкостей $C_{30}^{10} = 75$ с – 250 с, а час приготування дьогтеполістирольного в'язучого становить 70 – 80 хвилин.

Проведення оптимізації дозволяє поліпшити якість кам'яновугільних в'язучих і одержати таким чином дьогтеполістирольне в'язуче з оптимальним комплексом фізико-механічних властивостей та екологічних характеристик. Воно з успіхом може бути застосоване для укріплення основ дорожніх одягів з горілих порід шахтних териконів. За своїми технічними показниками таке в'язуче наближається до дорожніх нафтових бітумів. При цьому заощаджується високовартісний нафтовий продукт, а також зменшуються забруднення навколишнього середовища та поліпшуються умови праці під час виробництва в'язучого і використання дьогтебетонів (леткі фракції дьогтю будуть частково поглинатися введеним полістиролом).

Список літератури: 1. Об особенностях структурообразования в дегтеполивинилхлоридных вяжущих / [В.И. Братчун, А.И. Повзун, М.К. Пактер и др.] [Текст] // Автошляховик України. – 1997. – № 3. – С. 34–35. 2. Математичне моделювання оптимізації системи «дьоготь – полімер – дерев-

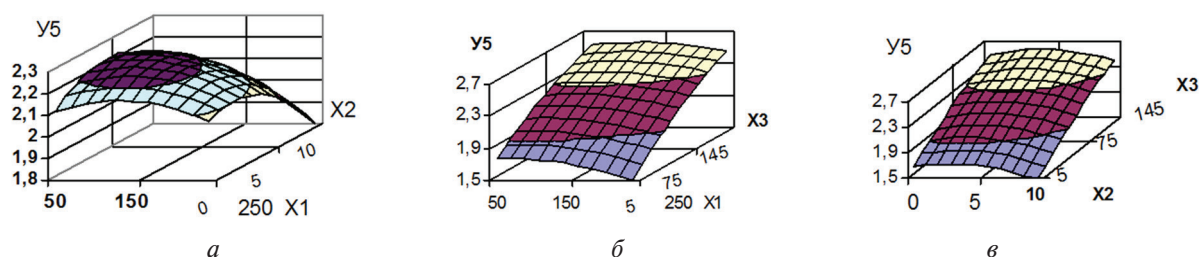


Рис. 5. Залежність границі міцності дьогтеполімербетону на стиск при 20°C, МПа (Y_5) від:

- а – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
 б – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
 в – масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

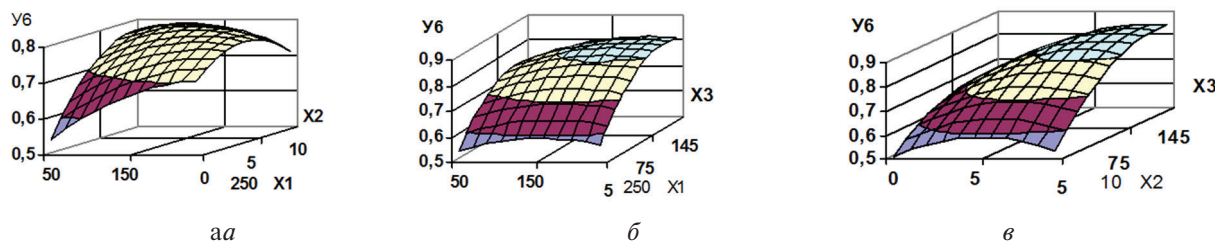


Рис. 6. Залежність коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_6) від:

- а – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та масової концентрації полістиролу (X_2);
 б – умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3);
 в – масової концентрації полістиролу (X_2) та часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого (X_3)

ний гідролізний лігнін» / [О.І. Повзун, С.В. Кононихін, Т.В. Горячева та ін.] [Текст] // Науково – теоретичний журнал «Штучний інтелект». – Донецьк: Інститут проблем штучного інтелекту МОН і НАН України. – 2014, – № 2. – С. 29–38. **3. Рафалес – Лемарка, Э.Э.** Некоторые методы планирования и математического анализа биологических экспериментов [Текст] / Э.Э. Рафалес – Лемарка, В.Г. Николаев. – К.: Наукова думка, 1971. – 119 с. **4. Лисенков, А.Н.** Математические методы планирования многофакторных медико – биологических экспериментов [Текст] / А.Н. Лисенков. – М.: Медицина, 1979. **5. Рузинов, Л.П.** Планирование эксперимента в химии и химической технологии [Текст] / Л.П. Рузинов, Р.И. Слободчикова. – М.; Химия, 1980. **6. Повзун, О.І.** Про технологічні режими виготовлення дьогтеполімерних в'язучих на основі полістирольного пилу [Текст] / О.І. Повзун // Республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – К.: «Будівельник», 1984. – Вип. 34. – С. 54–57. **7. Голикова, Т.И.** Свойства Д-оптимальных планов и методы их построения [Текст] / Т.И. Голикова, Н.Г. Микешина // Новые идеи в планировании эксперимента. – М.: 1969. – С. 34–39. **8. Кафаров, В. В.** Методы кибернетики в химии и химической технологии [Текст] / В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1971. – 496 с. **9. Налимов, В.В.** Статистические методы планирования экстремальных экспериментов [Текст] / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 30 с.

Надійшла до редколегії 12.03.2015

УДК 625.72

Математическое моделирование системы «дѳготь – полистирол» на интеллектуальном уровне / О. И. Повзун, С. В. Кононихин, В. О. Лещинский // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2015. – № 1 (84). – С. 69–74.

Впервые в данной работе с помощью методов математического планирования эксперимента оптимизированы каменноугольные вяжущие, которые состоят из маловязких каменноугольных дѳгтей и полимеров (первичные отходы производства полистирола). Оптимальными составляющими исследуемых систем являются: дѳготь вязкостью $C_{30}^{10} = 75 - 250$ с – 100 %, полистирол – 4,0 – 6,0 %. Оптимальное время приготовления дѳгтеполистирольного вяжущего составляет 70–80 минут.

Табл. 5. Ил. 6. Библиогр.: 9 назв.

UDK 625.72

Mathematical modeling of the system «pitch – polystyrene» at the intellectual level / O. I. Povzun, S. V. Kononishin, V. A. Leshchinskij // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. – 2015. – №1 (84). – P. 69–74.

At first in article put a mathematical and computer research and optimization of the intellectual system “tar – polystyrtne”. Using the methods of mathematical planning experiments on the basis of the developed mathematical model and designed and built a three-dimensional charts parameter optimization system – factors of variation it is shown that the optimal concentrations of polystyrene in coal tar there 4,0 – 6,0 % according to their viscosity $C_{30}^{10} = 75 - 250$ s, and the period of preparation dogeball binder is 70–80 minutes.

Tab. 5. Fig. 6. Ref.: 9 items.