

УДК 625.72



О.І. Повзун¹, С.О. Вірич², С.В. Кононихін³, О.К. Коноваленко⁴, Т.В. Горячева⁵

¹КП ДонНТУ, м.Красноармійськ, Україна, povzun@myrambler.ru

²ДонНТУ, м.Красноармійськ, Україна, ledigraf@yandex.ru

³КП ДонНТУ, м.Красноармійськ, Україна, ksv1944@mail.ru

⁴ХНУРЕ, м.Харків, Україна, fizkult@kture.kharkov.ua

⁵КП ДонНТУ, м.Красноармійськ, Україна, tvgor@ukr.net

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРИКОМПОНЕНТНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ НАПОВНЕНОГО ДЬОГТЕПОЛІМЕРНОГО В'ЯЖУЧОГО

Проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію системи «середовище, що модифікується (кам'яновугільний дьоготь), – полімер (відходи виробництва полістиролу - полістирольний пил) – активний дисперсний наповнювач (відхід спиртового і дріжджового виробництва – деревний гідролізний лігнін)». Розраховано й побудовано тривимірні діаграми «параметр оптимізації системи – фактори варіювання». За допомогою методів математичного планування експерименту визначено оптимальні умову в'язкість вихідного кам'яновугільного дьогтю і концентрації полістирольного пилу та деревного гідролізного лігніну в ньому.

МОДЕЛЬ МАТЕМАТИЧНА, ДІАГРАМА ТРИВИМІРНА, ПАРАМЕТР ОПТИМІЗАЦІЇ, ФАКТОР ВАРІЮВАННЯ, ФУНКЦІЯ ВІДКЛИКУ

Вступ

За фізико - механічними властивостями кам'яновугільні дьогті для дорожнього будівництва значно поступаються нафтовим бітумам і мають низьку в'язкість, що сприяє підвищенню схильності бетону на них до старіння і його низькій теплостійкості, а також викликає появу крихких деформацій дорожнього покриття взимку. Зі зростанням в'язкості у кам'яновугільних дьогтях утворюється структура, про що свідчить поява аномалії в'язкої течії та дійсної границі текучості.

Одним з ефективних технологічних засобів поліпшення якості кам'яновугільних дьогтів є введення до їхнього складу в невеликій кількості полімерів або їхніх відходів, наприклад, полівінілхлориду або первинних відходів його виробництва, епоксидної смоли, термо-пластичної полімерної смоли (особливо вінілової групи), добавок відходів полістиролу, відходів виробництва фенілетилену, смоли випалювальних печей [1-3] тощо.

1. Аналіз досліджень та формулювання завдань дослідження

За допомогою регресійного аналізу оптимізацію подвійної технологічної системи «дьоготь – полімер» здійснено для відходів полівінілхлориду (ПВХ) [4]. Для цього було використано рівномірний симетричний квазіортогональний план для п'яти факторів на п'ятьох цілочисельних рівнях (-2; -1; 0; +1; +2). Як критерій оптимальності планів було вжито значення парного коефіцієнта кореляції між коефіцієнтами моделі ($\max |r(a_i a_j)| \leq r_{кр}$), коефіцієнт розкиду, регулярність і рівномірність.

Було прийнято рівномірний план – оптимальний, $r_{кр} \leq 0,3$. Факторами варіювання були: температура розчинення полімеру t (°C), тривалість приготування кам'яновугільного в'язучого τ_p (с), концентрація полімеру m (%), дисперсність полімеру D (м²/кг), пеко -

антраценове відношення в кам'яновугільному дьогті φ . На підставі побудованих залежностей параметрів оптимізації від кожного з кодованих факторів (з використанням рівнянь регресії) визначено оптимальну концентрацію ПВХ в кам'яновугільному в'язучому, яка становить 1,5 - 2,0% за масою.

На інтелектуальному рівні проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію теж подвійної технологічної системи, але з іншим полімером – «дьоготь - полістирол» [5], [6]. 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% за масою відповідно до їхніх в'язкостей ($C_{30}^{10} = 75-250$ с), а термін приготування дьогтеполістирольного в'язучого становить 70-80 хвилин [5], [6].

На комплексні кам'яновугільні композиції впливають такі фактори:

- в'язкість вихідного кам'яновугільного дьогтю за

$$C_{30}^{10}, \text{ с (секунди)},$$

де 10 – діаметр стічного отвору, мм,

30 – температура витікання 50 мл в'язучого на стандартному віскозиметрі, °C;

- концентрація полімеру;

- концентрація наповнювача.

Малов'язкі кам'яновугільні в'язучі, у яких енергія теплового руху дисперсійного середовища (γ -фракція) дорівнює або більша за енергію зв'язку у вузлах макромолекулярної полімерної сітки, утвореної за рахунок механічного зачеплення і переплетіння надмолекулярних структур полістиролу, слід зміцнювати ліофільними активними дисперсними наповнювачами. Адсорбційна взаємодія полімерних

молекул з твердими наповнювачами на границі розділу фаз зменшить рухливість макроланцюгів, що, очевидно, призведе до зміцнення модифсистеми. Такими наповнювачами з високою структуруючою здатністю в дьогтеполімерних в'язучих можуть бути, наприклад, кубові залишки дистиляції фталевого [7], деревний гідролізний лігнін [8] тощо.

Наповнені дисперсними порошками кам'яновугільні в'язучі є складними сполуками. Тому виникає необхідність в оптимізації їхніх складів за допомогою методів математичного планування експерименту.

Метою даної роботи є розроблення математичної моделі для оптимізації трикомпонентної технологічної системи «кам'яновугільний дьоготь – полістирол (ПС) – деревний гідролізний лігнін (ДГЛ)» на інтелектуальному рівні, одержуючи комплексне кам'яновугільне в'язуче, яке за фізико - механічними властивостями і екологічними характеристиками наблизатиметься до нафтового бітуму.

Використовуючи метод математичного планування експерименту, завданнями дослідження є:

- виявлення оптимальної умовної в'язкості кам'яновугільного дьогтю за C_{30}^{10} , с;
- визначення оптимальної масової концентрації полімеру в кам'яновугільних дьогтях різної в'язкості, %;
- визначення оптимальної масової концентрації активного дисперсного наповнювача в дьогтеполістирольному в'язучому, %.

2. Розробка планування експерименту трикомпонентної технологічної системи

В даній роботі як об'єкти дослідження було прийнято:

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

- полімер – відходи виробництва полістиролу (полістирольний пил - ПС) ВАТ «Концерн «Стирол» (м. Горлівка Донецької області) з молекулярною масою $9 \cdot 10^4$ в.о і частинками розміром менші за $6,3 \cdot 10^{-5}$ м;

- наповнювач – деревний гідролізний лігнін (ДГЛ) Бобруйського гідролізного заводу (Білорусь) – відхід спиртово - дріжджового виробництва, який одержують у вигляді осаду хвойних и листяних порід деревини методом гідролізу (розбавленою сірчаною кислотою).

Модифіковане кам'яновугільне в'язуче готували суміщенням кам'яновугільних дьогтів з полістирольним пилом при температурі 115-125 °С впродовж 30 хвилин. Потім додавали порошокподібний деревний гідролізний лігнін і продовжували перемішувати ще 30 хвилин.

Для оптимізації системи «кам'яновугільний дьоготь – полістирол – деревний гідролізний лігнін» було використано композиційний несиметричний план [9] на трьох цілочисельних рівнях (-1; 0; +1) з коефіцієнтом кореляції $r_{ij} \leq 0,10$, де $i, j = 1, 2, 3$. Оптимальні склади системи «дьоготь – ПС - ДГЛ» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів X_1, X_2, X_3 (табл.1). Ці оптимальні області обмежені поверхнями рівня функції відклику за кожним з параметрів оптимізації (табл.2).

За критерій оптимальності плану прийнято критерій D-оптимальності, що пов'язаний з мінімізацією об'єму еліпсоїду розсіювання оцінок параметрів рівнянь регресії [10], з урахуванням якого було побудовано план експерименту (табл. 3).

Таблиця 1.

Значення факторів варіювання

Система		Фізичний зміст фактору варіювання			
		Умовна в'язкість дьогтю за C_{30}^{10} , с	Масова концен-трація полі-сти-ролу, %	Масова концентрація наповнювача, %	
		X_1	X_2	X_3	
Дьоготь-ПС-ДГЛ	Інтервал варіювання	100	1	20	
	Рівні фактору у	-1	50	0	0
		0	150	2,5	20
	+1	250	5	40	

Таблиця 2.

Параметри оптимізації системи

№ з.п.	Код параметру оптимізації	Фізичний зміст параметру оптимізації	Граничні значення функції відклику
1	Y_1	Оптимальний вміст в'язучого в суміші (в перерахунку на дьоготь), %	Не більше 8,5
2	Y_2	Температура розм'якшення в'язучого, °С	Не менше 33
3	Y_3	Еластичність в'язучого при 0 °С, %	Не менше 30
4	Y_4	Границя міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 20 °С, МПа	Не менше 2,5
5	Y_5	Границя міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 50 °С, МПа	Не менше 1,0
6	Y_6	Границя міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 0 °С, МПа	Не більше 12,0
7	Y_7	Коефіцієнт тривалої водостійкості дьогтеполістиролбетону	Не менше 0,8

Для створеного плану експерименту (табл. 3) за методом найменших квадратів обчислено коефіцієнти рівнянь регресії за виразом [11]:

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

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 їхньої значущості дозволили одержати поліноміальні моделі.

Таблиця 3.

Матриця планування експерименту

№ зп	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	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

Статистичний аналіз отриманих результатів включає перевірку двох статистичних гіпотез:

- про значущість отриманих коефіцієнтів моделі;

- про адекватність представлення результатів експерименту здобутим рівнянням регресії [11], [12]. Коефіцієнти рівняння регресії підставлені в поліноміальну форму вигляду:

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

Для кожного з параметрів оптимізації за формулою (1) знайдено коефіцієнти регресії, які підставлені в рівняння (2). Рівняння регресії для кожного параметра оптимізації мають такий вигляд:

Система «кам'яновугільний дьоготь – ПС – ДГЛ»

$$Y_1 = 8,062 + 0,161 \cdot X_1 - 0,051 \cdot X_2 + 2,087 \cdot X_3 + 0,031 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,012 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,007 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,176 \cdot X_1^2 + 0,216 \cdot X_2^2 + 0,738 \cdot X_3^2;$$

$$Y_2 = 33,801 + 4,413 \cdot X_1 + 4,497 \cdot X_2 + 7,634 \cdot X_3 - 1,343 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,966 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,133 \cdot X_2 \cdot X_3 - 4,973 \cdot X_1^2 + 0,443 \cdot X_2^2 - 5,211 \cdot X_3^2;$$

$$Y_3 = 33,831 + 0,462 \cdot X_1 + 21,069 \cdot X_2 - 1,093 \cdot X_3 + 0,929 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,691 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,620 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1,876 \cdot X_1^2 - 11,088 \cdot X_2^2 - 3,969 \cdot X_3^2;$$

$$Y_4 = 2,736 + 0,383 \cdot X_1 + 0,570 \cdot X_2 + 0,486 \cdot X_3 + 0,056 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,096 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,066 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,255 \cdot X_1^2 + 0,079 \cdot X_2^2 - 0,101 \cdot X_3^2;$$

$$Y_5 = 0,918 + 0,092 \cdot X_1 + 0,198 \cdot X_2 + 0,149 \cdot X_3 + 0,033 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,059 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,076 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,016 \cdot X_1^2 - 0,124 \cdot X_2^2 - 0,012 \cdot X_3^2;$$

$$Y_6 = 9,325 + 1,538 \cdot X_1 + 2,139 \cdot X_2 + 1,723 \cdot X_3 - 0,277 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,108 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,180 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,365 \cdot X_1^2 - 0,459 \cdot X_2^2 + 0,031 \cdot X_3^2;$$

$$Y_7 = 0,826 + 0,016 \cdot X_1 + 0,086 \cdot X_2 + 0,051 \cdot X_3 - 0,040 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,006 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,025 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,08 \cdot X_1^2 - 0,045 \cdot X_2^2 - 0,002 \cdot X_3^2.$$

Загальний вигляд функції відклику представляє собою рівняння другого порядку. Ці рівняння регресії перевірено на адекватність, і вони відповідають критерію Фішера. Вони також характеризуються такими статистичними параметрами:

- дисперсія адекватності $S = 0,016$;

- коефіцієнт варіації $\delta = 2,34\%$;

- кореляційне відношення $KB = 0,984$.

Відповідно до отриманих рівнянь регресії у тривимірному просторі побудовано діаграми поверхонь функцій відклику, які показують залежність відповідного параметра оптимізації, а саме:

- оптимальний вміст в'язучого в суміші (в перерахунку на дьоготь), % (Y_1) (рис.1);

- температура розм'якшення в'язучого, °C (Y_2) (рис.2);

- еластичність в'язучого при 0 °C, % (Y_3) (рис.3);

- границя міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 20 °C, МПа (Y_4) (рис.4);

- границя міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 50 °C, МПа (Y_5) (рис.5);

- границя міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 0 °C, МПа (Y_6) (рис.6);

- коефіцієнт тривалої водостійкості дьогтеполістиролбетону (Y_7) (рис.7);

від:

а) умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1);

б) масової концентрації полістиролу (X_2);

в) масової концентрації деревного гідролізного лігніну (X_3).

Умова відповідності граничного значення функції відклику для Y_1 (оптимальний вміст в'язучого в суміші) величини не більше 8,5% для умовної в'язкості

дьогтю $C_{30}^{10} = 50$ с (X_1) виконується за будь-якої концентрації полістиролу (X_2), що розглядається в даній роботі. Для умовної в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 250$ с (X_1) концентрація ПС (X_2) становить $< 4,5\%$ (рис. 1,а). Концентрація

деревного гідролізного лігніну (X_3) для всього діапазону в'язкостей дьогтю (від $C_{30}^{10} = 50$ с до $C_{30}^{10} = 250$ с) повинна бути $< 21\%$ (рис. 1, б, в).

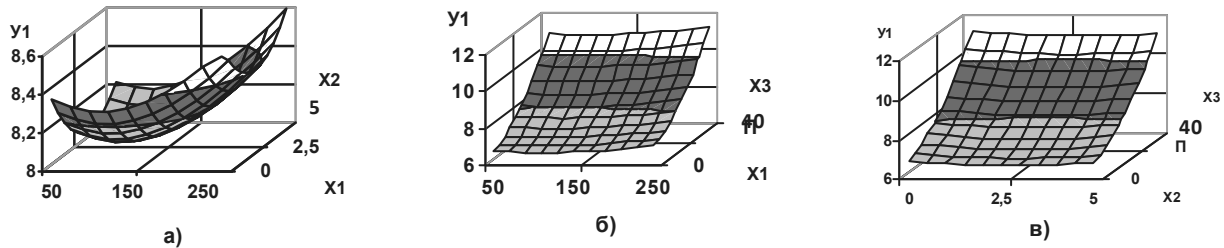


Рис. 1. Діаграма для оптимального вмісту в'язучого в суміші (в перерахунку на дьоготь), % (Y_1)

Для кам'яновугільного дьогтю з умовною в'язкістю $C_{30}^{10} = 50$ с (X_1) температура розм'якшення наповненого в'язучого (Y_2) становить не менше 33°C для дьогтю в'язкістю не менше $C_{30}^{10} = 90$ с при концентрації ПС (X_2) не менше за 2,5%, а при концентрації полістирольного пилу 5% умовна в'язкість має бути не менше ніж $C_{30}^{10} = 70$ с (рис.2, а). Для більш високих в'язкостей дьогтю ($C_{30}^{10} = 70$ с – 90 с до $C_{30}^{10} = 250$ с (X_1))

температура розм'якшення в'язучого (Y_2) перевищує 33°C за будь-якою концентрацією ПС (X_2) (рис.2, а). Понад 33°C Y_2 складає за таких умов:

- при концентрації ДГЛ (X_3) не менше 24% – для в'язкості дьогтю не менше за $C_{30}^{10} = 110$ с (X_1) і при 0,5% ПС (X_2) (рис. 2, б, в), або при 5% ПС (X_2) + 10% ДГЛ (X_3) (рис. 2, б, в);

- для в'язкості $C_{30}^{10} = 150$ с – 250 с (X_1) при 2,5% ПС (X_2) + 20% ДГЛ (X_3) (рис. 2, б, в)

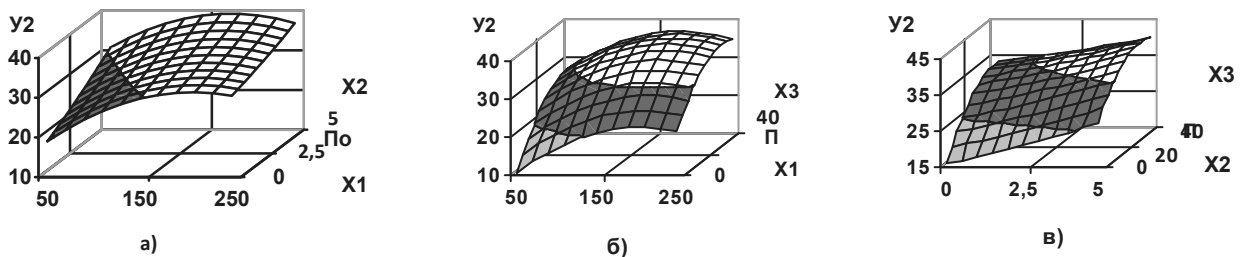


Рис. 2. Діаграма для температури розм'якшення в'язучого, $^\circ\text{C}$ (Y_2)

Еластичність (E) в'язучого при 0°C (Y_3) перевищує граничне значення (тобто еластичність не менше 30%) для всього діапазону в'язкостей дьогтю, що розглядається в даній роботі ($C_{30}^{10} = 50 - 250$ с) (X_1), при концентраціях полістиролу 1,8-2,4% ПС (X_2) (рис. 3, а). Поверхня функції відклику Y_3 проходить через екстремум (максимум) при вмісті ДГЛ від 12% до 20% в залежності від в'язкості вихідного дьогтю (рис. 3,в). Без лігніну еластичність наповненого в'язучого $E > 30\%$ становить при 2,4% ПС (рис. 3,в). Майже 31% в'язуче має еластичність для 2,5% ПС (X_2) без активного дисперсного наповнювача ДГЛ (X_3) (рис. 3,в), а для діапазону концентрацій ПС від 2,5% ПС (X_2) до

5% ПС (X_2) з деревним гідролізним лігніном 4-40% ДГЛ – $Y_3 = 32,2-44,0\%$ (рис. 3,в).

Границя міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 20°C (Y_4) не менше 2,5 МПа (граничне значення функції відклику) досягається при введенні 1 - 4,4% ПС (X_2) в кам'яновугільні дьогті в'язкістю $C_{30}^{10} = 250 - 50$ с (X_1) (рис. 4, а). З активним дисперсним наповнювачем необхідні значення Y_4 має: для в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 70$ с – без полімеру ПС (X_2) з 35% ДГЛ (X_3); для в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 250$ с – при $>1\%$ ПС з 10% ДГЛ (X_3) (рис.4, б, в).

Поверхня функції відклику Y_5 (границя міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 50 °С) проходить через максимум (рис.5, а) при концентрації полістиролу (X_2) 4,0 – 4,5% ПС для будь-якої умовної в'язкості дьогтю (X_1): для в'язкості $C_{30}^{10} = 50$ с (X_1) він спостерігається при 1,4% ПС (X_2) і дорівнює 0,93 МПа (Y_5). При в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 220 - 250$ с (X_1) умова за цим показником виконується при 3,0 - 5,0% полістирольного пилу (X_2). З деревним гідролізним

лігніном Y_5 відповідає граничному значенню (не менше 1 МПа) при концентраціях 2,5 - 5,0% ПС (X_2) і 24 - 40% ДГЛ (X_3) (рис. 5, в).

Границя міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 0 °С (Y_6) відповідає граничному значенню (не більше 12 МПа) за будь-якої умовної в'язкості кам'яновугільного дьогтю (X_1) та при будь-якій концентрації полімеру (рис.6, а). З наповнювачем даний показник не відповідає граничному значенню лише при концентрації 4-5% ПС (X_2) + 36 - 40% ДГЛ (X_3). (рис.6).

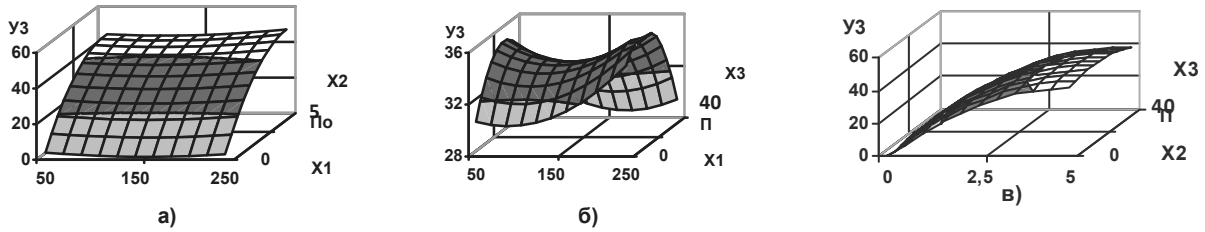


Рис. 3. Діаграма для еластичності в'язучого при 0 °С, % (Y_3)

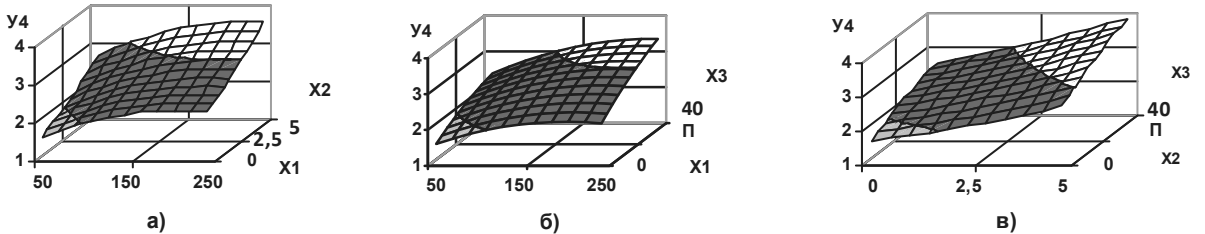


Рис. 4. Діаграма для границі міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 20 °С, МПа (Y_4)

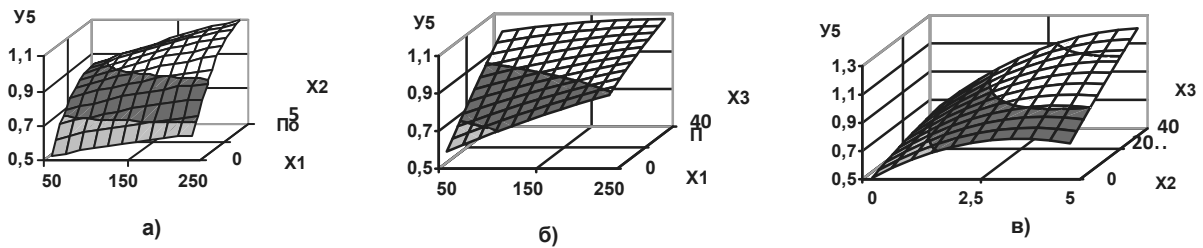


Рис. 5. Діаграма для границі міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 50°С, МПа (Y_5)

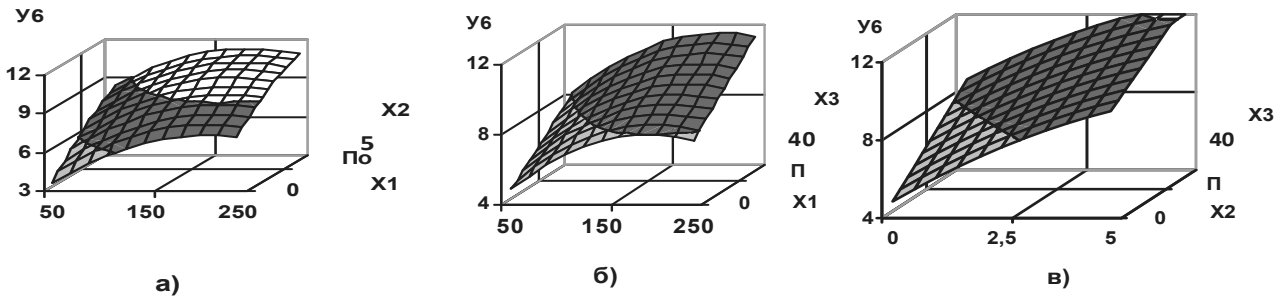


Рис.6. Діаграма для границі міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 0 °С, МПа (Y_6)

Коефіцієнт тривалої водостійкості (Y_7) відповідає граничному значенню функції відклику (не менше 0,8) для умовної в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 50 - 220$ с (X_1) при 5,0 - 2,0% ПС (X_2) (рис.7, а). З активним дисперсним наповнювачем зазначена умова виконується для

в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 70-250$ с (X_1) при 1,5 - 5,0% ПС (X_2) + 12 - 36% ДГЛ (X_3) (рис. 7, б, в).

Отже, враховуючи граничні значення функцій відклику всіх параметрів оптимізації ($Y_1 - Y_7$), можна зазначити, що оптимальною системою

«кам'яновугільний дьоготь – полістирол – деревний гідролізний лігнін» буде при умовній в'язкості дьогтю (X_1) $C_{30}^{10} = 150 - 220$ с, масовій концентрації полістиролу

(X_2) 4,0 - 4,4% ПС та масовій концентрації деревного гідролізного лігніну (X_3) 20 - 21% (ДГЛ).

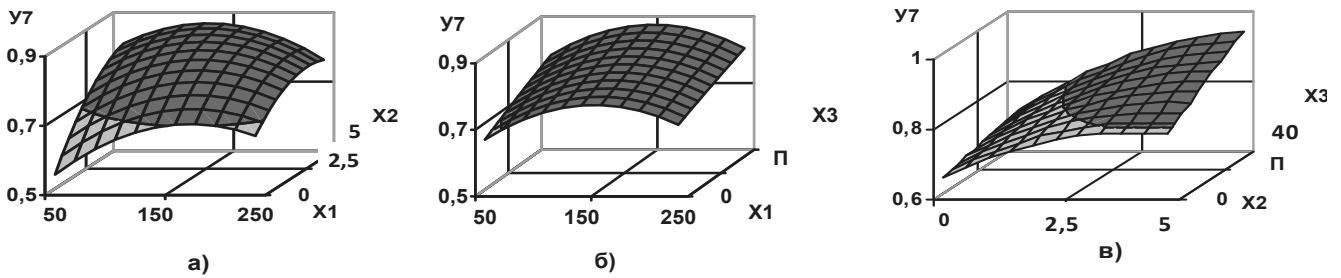


Рисунок 7 – Діаграма для коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполістиролбетону (Y_7)

Висновки та напрямок подальших досліджень

Вперше проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію системи «кам'яновугільний дьоготь – полістирол – деревний гідролізний лігнін» на інтелектуальному рівні. 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 полістирольного пилу в кам'яновугільних дьогтях є 4,0-4,4% ПС, а деревного гідролізного лігніну - 20-21% ДГЛ. В'язкість вихідного кам'яновугільного дьогтю становить $C_{30}^{10} = 150 - 220$ с.

Проведення оптимізації дозволяє одержати якісне модифіковане кам'яновугільне в'язуче з оптимальним комплексом фізико - механічних властивостей та екологічних характеристик. За своїми технічними показниками таке в'язуче наближається до нафтових бітумів. При цьому заощаджується високовартісний нафтовий продукт (бітум), а також зменшуються забруднення навколишнього середовища та поліпшуються умови праці під час виробництва такого в'язучого і використання бетонних сумішей на модифікованих відходами полістиролу кам'яновугільних дьогтів, наповнених деревинним гідролізним лігніном (легкі фракції кам'яновугільного дьогтю частково поглинаються введеними полімером та активним дисперсним наповнювачем).

Подальші дослідження будуть присвячені вивченню структуроутворення в комплексних кам'янову-гільних в'язучих, які модифіковані полістирольним пилом та деревним гідролізним лігніном – відходом спиртово - дріжджового виробництва, а також визначенню фізико - механічних і деформаційно – міцнісних властивостей бетонів на такому в'язучому, мінеральною частиною яких є горілі породи шахтних териконів.

Список літератури: 1. Братчун, В.И. О процессах структурообразования в системе деготь – поливинилхлорид / В.И. Братчун, В.А. Золотарев, Н.Ф. Почапский // Известия вузов. – 1981. – № 7. – С. 64-67. 2. Даценко, В.М. Дьогтеполимерні бетони підвищеної довговічності на основі в'язучих, модифікованих відходами виробництва стиролу та полістиролу: автореф. дис. на здобуття наукового ступ. канд. техн. наук / В.М. Даценко. – Харків, 2006. – 18 с. 3. Орел, В.Д. Кам'яновугільні в'язучі, модифіковані відходами виробництва полімерів фенілетилену / В.Д. Орел, А.М. Думанський, О.В. Даценко // Автошляховик України. – 1994. – № 3. – С. 29-31. 4. Грушко, И.М. Определение составов и технологических режимов приготовления дегтеполимерных вяжущих / И.М. Грушко, В.А. Золотарев, Б.А. Лишанский, В.И. Братчун // Известия вузов. – 1982. – № 6. – С.67-70. 5. Повзун, О.І. Математичне моделювання системи «дьоготь – полістирол» на інтелектуальному рівні / О.І. Повзун, С.В. Кононихін, В.О. Лещинський // Бионика интеллекта, ХНУРЭ. – 2015. – № 1 (84). – С. 69-74. 6. Повзун, О.І. Моделювання оптимального впливу параметрів інтелектуальної системи «дьоготь – полістирол» / О.І. Повзун, С.О. Вірич, С.В. Кононихін, Т.В. Горячева // Штучний інтелект. – К.: Інститут проблем штучного інтелекту МОН і НАН України. – 2015. – № 1-2 (67-68). – С. 201-212. 7. Братчун, В.И. Модификация каменноугольных дорожных дегтей комплексными добавками / В.И. Братчун, А.И. Повзун, В.А. Золотарев // Известия вузов. – 1985. – № 3. – С.72-76. 8. Братчун, В.И. Упрочнение маловязких дегтеполимерных вяжущих древесным гидролизным лигнином / В.И. Братчун, А.И. Повзун, В.А. Золотарев, С.В.Якименко // Известия вузов. – 1987. – № 3. – С. 60-63. 9. Бродский, В.Э. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / В.Э. Бродский. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с. 10. Голикова, Т.И. Свойства D-оптимальных планов и методы их построения / Т.И. Голикова, Н.Г. Микешина // Новые идеи в планировании эксперимента. – 1969. – С. 34-39. 11. Кафаров, В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1971. – 496 с. 12. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 30 с.

Надійшла до редколегії 28.04.2016

УДК 625.72

Математическое моделирование трехкомпонентной технологической системы наполненного дегтеполимерного вяжущего / А.И. Повзун, С.А. Вирич, С.В. Кононыхин, Т.В. Горячева // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2016. - № 1 (86). – С. 26-32.

На интеллектуальном уровне оптимизирована трехкомпонентная технологическая система «деготь – полимер – активный дисперсный наполнитель». С помощью метода математического планирования эксперимента и построения трехмерных диаграмм определены оптимальные условия вязкости каменноугольного дегтя, концентрации полистирольной пыли и древесного гидролизного лигнина. Полученное модификацией указанными компонентами каменноугольное вяжущее по физико – механическим свойствам и экологическим показателям значительно превосходит традиционные дегти и приближается к свойствам нефтяных битумов.

Табл. 3. Ил. 7. Библиогр.: 12.

UDC 625.72

Mathematical modeling of three-component technological system is filled with detailmessage binder / A.I. Povzun, S.A. Virych, S.V. Kononykhin, T.V. Goryacheva // Bionics of Intelligense: Sci, Mag. – 2016. – № 1 (86). – P. 26-32.

The three-component process system «tar – resin – dispersed active filler» is optimized on an intellectual level. the optimum relative viscosity of coal tar, concentrations of polystyrene dust and wood hydrolytic lignin is determined by the method of mathematical planning of the experiment and the construction of the three-dimensional charts. Modified coal-tar binder pitches are superior to conventional, and approaches the properties of petroleum bitumen on physico – mechanical properties and environmental performance significantly.

Tab. 3. Fig. 7. Ref.: 12 terms