3. Роботи із забезпечення енергоефективності включають такі види: проведення перед-проектного, поточного та контрольного енергоаудитів, утеплення фасадів, заміна вікон, заміна дверей.

4. В ході реалізації запропонованих заходів очікується підвищення класу енергоефективності будівлі з F до C та максимальне наближення до нормативних вимог щодо припустимих витрат теплової енергії на опалення будівель, які існують в країнах ЄС.

Список літератури

1. Голишев О.М. Перспективи підвищення енергоефективності систем тепло забезпечення підприємств гірничо-металургійного комплексу в умовах дефіциту енергоресурсів / О.М. Голишев, А.О. Голишев, Д.В. Михалків // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2016. – Вип. 41. – С.156-159.
2. ДБН Б В.2.6-31 “Теплова ізоляція будівель”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65838 (дата звернення: 26.02.2018).
3. ДСТУ Б EN 15217 “Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56322 (дата звернення: 26.02.2018).
4. ДСТУ Б В.2.6-34 “Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48458 (дата звернення: 26.02.2018).
5. ДСТУ Б В.2.6-17 “Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі”. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4705 (дата звернення: 26.02.2018).
6. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT) [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=28004 (дата звернення: 26.02.2018).
7. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Гончарук С.М., Гурська Ю.В. Комплексне дослідження енергетичних характеристик будівлі. The scientific heritage. – 2017. – Vol. 9. – Р. 63-68.
8. І.М. Луценко, Є.В. Кошеленко, П.С. Циган. Оцінка енергетичної ефективності огорожуючих конструкцій будівель // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2018. – № 100. – С. 95-101

Рукопис подано до редакції 04.04.2018

УДК 622.333 – 033.26:625.06

С.В. ПОДКОПАЄВ, д-р техн. наук, проф., О.І. ПОВЗУН, В.В. КАЛИНИЧЕНКО,
С.О. ВІРИЧ, кандидати техн. наук, доценти
Донецький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ, МОДИФІКОВАНИХ ВІДХОДОМ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІСТИРОЛУ ТА НАПОВНЕНИХ КОКСОВИМ ВУГІЛЛЯМ, ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ ОСНОВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Мета. Визначення оптимальних концентрацій відходу виробництва полістиролу (полістирольного пилу) та коксового вугілля у кам'яновугільних в'язучих для дорожнього будівництва.

Методи дослідження. Окрім стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей органічних в'язучих речовин (глибина проникнення голки в градусах шкали пенетрометра, еластичність – прилад дуктилометр, температура розм'якшення – прилад «Кільце і куля») застосовано метод математичного планування експерименту.

Наукова новизна. Вперше проведено математичне й комп'ютерне дослідження системи «середовище, що модифікується (кам'яновугільний дьоготь), – полімер (відходи виробництва полістиролу – полістирольний пил) – активний дисперсний наповнювач (коксове вугілля). Розроблено математичну модель для оптимізації складу кам'яновугільних в'язучих, що відповідають зазначеній системі.

Практична значимість. Знаючи математично обчислені оптимальні концентрації полістирольного пилу та коксового вугілля, можна у виробничих умовах приготувати наповнене вугіллям дьогтеполістирольне в'язуче, яке за фізико-механічними властивостями і екологічними показниками наближається до бітуму нафтового дорожнього.

Результати. При оптимізації складу модифікованого полістирольним пилом та наповненого коксовим вугіллям кам'яновугільного в'язучого як фактори варіювання було прийнято: умовна в'язкість кам'яновугільного дьогтю за C_{30}^{10} , с (секунди); масова концентрація полістирольного пилу, %; масова концентрація коксового вугілля, %. Параметрами оптимізації є: глибина проникнення голки в градусах шкали пенетрометра, еластичність в'язучого при 0°C, м, температура розм'якшення в'язучого, °C. Оптимальні склади системи «дьоготь – полістирольний пил – коксове вугілля» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів X_1 , X_2 , X_3 . Коефіцієнти рівнянь регресії об-

числено за методом найменших квадратів. Рівняння регресії являють собою поліном другого ступеня. Одержані рівняння регресії перевірено на адекватність і задовольняють критерію Фішера. Розраховано й побудовано тривимірні діаграми «параметри оптимізації системи – фактори варіювання». Відповідно до отриманих рівнянь регресії побудовано поверхні відклику у тривимірному просторі. Визначено області допустимих значень оптимальних концентрацій полімеру та активного дисперсного наповнювача у кам'яновугільних в'язучих, які відповідають граничним значенням функцій відгуку.

Ключові слова: кам'яновугільне в'язуче, полістирольний пил, коксове вугілля, моделювання, оптимізація.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-18-24

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Кам'яновугільні в'язучі (особливо рідкі) за фізико-механічними властивостями суттєво поступаються нафтовим бітумам [1]. Одним з ефективних способів поліпшення їхньої якості є введення до їх складу полімерів, що суміщаються з ними [2-4].

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 сітки, утвореної надмолекулярними структурами полімеру, слід зміцнювати ліофільними активними дисперсними наповнювачами [5].

Такими наповнювачами з високою структуруючою здатністю в дьогтеполімерних в'язучих можуть бути, наприклад, деревний гідролізний лігнін (відхід спиртового і дріжджового виробництва, який одержують у вигляді осаду хвойних і листяних порід деревини методом гідролізу розбавленою сірчаною кислотою), кубові залишки очищення дистиляції фталевого ангідриду (відхід коксохімічного виробництва), кам'яне вугілля різної стадії метаморфізму [6] тощо.

Аналіз досліджень та публікацій. Калориметричні дослідження в режимі сканування показали, що процес взаємодії кам'яновугільних дьогтів з полістирольним пилом є екзотермічним. Це доводить суміщеність полістиролу з кам'яновугільним в'язучим [7]. Визначено температуру розчинення полімеру, яка становить 105-110°C.

В роботі [8] викладено вивчені процеси структуроутворення в кам'яновугільних в'язучих, модифікованих відходами полістиролу (полістирольним пилом). В роботі [9] проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію системи «дьоготь – полістирольний пил». Доведено, що оптимальними концентраціями відходу виробництва полістиролу в кам'яновугільних дьогтях є 4,0-6,0% відповідно до їхніх в'язкостей $C_{30}^{10} = 75-250$ с, а термін приготування дьогтеполістирольного в'язучого становить 70-80 хвилин.

Постановка задачі. Використовуючи метод математичного планування експерименту, завданнями досліджень є:

визначення оптимальної умовної в'язкості кам'яновугільного дьогтю за C_{30}^{10} , с (секунди):

10 - діаметр стічного отвору приладу (стандартного віскозиметру), мм;

30 - температура матеріалу під час випробування, °C.

визначення оптимальної концентрації полістирольного пилу в кам'яновугільних дьогтях різної в'язкості;

визначення оптимальної концентрації коксового вугілля у дьогтеполістирольних в'язучих.

Викладення матеріалу та результати. В цій роботі як об'єкт дослідження було прийнято: середовище, що модифікується, - кам'яновугільні дьогті - складені із середньотемпературного пеку і антраценового масла;

полімер - полістирольний пил (ПС) ВАТ «Концерн «Стирол» (м. Горлівка Донецької області) - відхід виробництва цехів суспензійної полімеризації стирулу, що утворюється під час відстоювання стічних вод. Це дрібнодисперсний порошок з максимальною крупністю частинок не більш за $6,3 \cdot 10^{-5}$ м. Дійсна густина цих відходів дорівнює 1050-1100 кг/м³, а насипна густина становить 650-720 кг/м³; молекулярна маса - $9 \cdot 10^4$ в.о.;

активний дисперсний наповнювач - коксове вугілля (КВ) середньої стадії метаморфізму з такими фізико-механічними властивостями: густина - 1190 кг/м³; вологість - 2,37%; вихід летких речовин - 26,9%; зольність - 0,94%; вміст вуглецю = 85,55%; вміст водню - 4,55%; вміст азоту - 1,49%; вміст кисню - 6,61%, коефіцієнт форми частинок вугілля - 0,8-1,0 тощо.

Наповнене дьогтеполістирольне в'язуче готували суміщенням кам'яновугільних дьогтів з полімером при температурі 105-110°C [7] спочатку впродовж 35 хвилин. Потім додавали меле-не коксове вугілля і ще перемішували 35 хвилин (разом 70 хвилин) [9].

Для визначення оптимальних концентрацій полістирольного пилу і коксового вугілля в кам'яновугільних дьогтях різних в'язкостей було прийнято композиційний несиметричний план на трьох цілочисельних рівнях (-1; 0; +1).

Оптимальні склади системи «кам'яновугільний дьоготь - полістирольний пил - коксове вугілля» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів X_1 , X_2 , X_3 (табл. 1).

Ці оптимальні області обмежені поверхнями функції відгуку за кожним з параметрів оптимізації (табл. 2).

Таблиця 1

Система			Значення факторів варіювання		
			Фізичний зміст фактора варіювання		
			умовна в'язкість дьогтю за C_{30}^{10} , с	масова концентрація полістирольного пилу, %	масова концентрація коксового вугілля, %
			X_1	X_2	X_3
Дьоготь-ПС-КВ	Інтервал варіювання		100	2	20
	Рівні фактора	-1	50	0	0
		0	150	2	20
		+1	250	4	40

Таблиця 2

Параметри оптимізації системи		
Код параметра оптимізації	Фізичний зміст параметра оптимізації	Граничні значення функції відгуку
Y_1	Глибина проникнення голки у в'язуче при 0°C, градуси шкали пенетрометра	>70
Y_2	Еластичність в'язучого при 0°C, %	>31
Y_3	Температура розм'якшення в'язучого, °C	>33

Глибину проникнення голки у в'язуче та його температуру розм'якшення в'язучих визначали відповідно до методик, викладених у лабораторному практикумі [10], а еластичність в'язучих - згідно з [11].

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

Таблиця 3

Матриця планування експерименту і значення параметрів оптимізації

X_1	X_2	X_3	Y_{11}	Y_{12}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{31}	Y_{32}
-1	-1	-1	220	218	0	0	11	12
0	-1	0	94	93	0	0	18	19
1	-1	1	64	63	0	0	27	28
-1	0	0	94	93	45	44	26	27
0	0	1	52	54	35	34	36	37
1	0	-1	180	178	25	23	27	28
-1	1	1	56	57	38	39	37	38
0	1	-1	200	202	38	37	26	27
1	1	0	82	83	47	48	30	31
-1	-1	1	68	69	0	0	17	18
1	-1	-1	190	192	0	0	21	22
-1	1	-1	205	206	19	18	23	24
1	1	1	79	78	40	41	39	40

За критерій оптимальності плану прийнято критерій D -оптимальності, який пов'язаний з мінімізацією об'єму еліпсоїду розсіювання оцінок параметрів рівнянь регресії [12]. З урахуванням критерію оптимальності було побудовано план експерименту (табл. 4).

Для створеного плану експерименту (табл. 4) за методом найменших квадратів обчислено коефіцієнти рівнянь регресії за виразом [13]

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

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.

Матриця планування експерименту

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	0	-1	0	0	0	0	0	1	0
1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1
1	-1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1
1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
1	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1
1	1	1	0	1	1	0	1	1	0
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Обробка результатів експерименту і визначення коефіцієнтів рівнянь регресії з урахуванням їх значущості дозволили одержати поліноміальні моделі [13-15] 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) обчислено коефіцієнти регресії, які підставлені в рівняння (2). Рівняння регресії для кожного параметра оптимізації мають такий вигляд

$$\begin{aligned} Y_1 &= 82,67519 - 5,03727 \cdot X_1 - 1,93608 \cdot X_2 - \\ &67,9568 \cdot X_3 + 4,067776 \cdot X_1 \cdot X_2 + 7,860795 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,8727 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,348688 \cdot X_1^2 + 8,35464 \cdot X_2^2 + 2,31893 \cdot X_3^2; \\ Y_2 &= 40,03409 + 0,803301 \cdot X_1 + 18,33902 \cdot X_2 + 3,125271 \cdot X_3 + 2,247294 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,89015 \cdot X_1 \cdot X_3 + \\ &+ 2,466991 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,67668 \cdot X_1^2 - 14,4981 \cdot X_2^2 - 8,31953 \cdot X_3^2; \\ Y_3 &= 29,94697 + 2,804654 \cdot X_1 + 6,090368 \cdot X_2 + 5,00487 \cdot X_3 - 2,0487 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,09632 \cdot X_1 \cdot X_3 + \\ &+ 1,953463 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,28734 \cdot X_1^2 - 4,85877 \cdot X_2^2 + 1,665043 \cdot X_3^2. \end{aligned}$$

Відповідно до одержаних рівнянь регресії у тривимірному просторі побудовано діаграми поверхонь функцій відгуку (рис. 1-3) зі значеннями на них відповідного параметра оптимізації у 121 точці (табл. 5-7). Діаграми показують залежність кожного з параметрів оптимізації, а саме:

- глибина проникнення голки у в'язуче при 0°C, градуси шкали пенетрометра (1 град. шкали пенетрометра = 0,1 мм) (Y_1) (рис. 1);
- еластичність в'язучого при 0°C, % (Y_2) (рис. 2);
- температура розм'якшення в'язучого, °C (Y_3) (рис. 3);
- від: умовної в'язкості кам'яновугільного дьогтю за C_{30}^{10} (X_1);
- масової концентрації полістирольного пилу (X_2);
- масової концентрації коксового вугілля (X_3).

Рис. 1. Діаграма для глибини проникнення голки у в'язуче при 0°C при умовній в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 150$ с, (Y_1)

Рис. 2. Діаграма для еластичності в'язучого при 0°C при умовній в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 150$ с, (Y_2)

Рис. 3. Діаграма для температури розм'якшення в'язучого при умовній в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 150$ с, (Y_3)

Враховуючи те, що в цій роботі X_1 – це умовна в'язкість кам'яновугільного дьогтю, яка змінюється від $C_{30}^{10} = 50$ с (при $X_1 = -1$) до $C_{30}^{10} = 250$ с (при $X_1 = +1$) (табл. 1), а також граничні значення функції відгуку Y_1 - Y_3 (табл. 2), то, послідовно фіксуючи X_1 , $X_1 = 0$ та X_1 можна визначити масову концентрацію полістирольного пилу ПС (X_2) та масову концентрацію коксового вугілля (X_3) відповідно (табл. 1).

Таблиця 5

Значення глибини проникнення голки у в'язуче при 0°C
на поверхні функції відгуку Y_1 , град. шкали пенетрометра

	Концентрація полістирольного пилю, %										
	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
0	205,1143	201,3449	198,2438	195,8111	194,0468	192,9509	192,5233	192,7641	195,6733	195,2808	197,4968
4	175,9136	172,2191	169,1929	166,8352	165,1458	164,1247	163,7721	164,0878	165,0719	166,7243	169,0451
8	150,0984	146,4788	143,5276	141,2447	139,6302	138,6841	138,4063	138,7969	139,8559	141,5833	143,979
12	127,6687	124,124	121,2477	119,0397	117,5001	116,6289	116,4261	116,8916	118,0255	119,8278	122,2984
16	108,6246	105,1548	102,3533	100,2203	98,75561	97,9593	97,83136	98,3718	99,5806	101,4578	104,0033
20	92,96591	89,57102	86,84451	84,78636	83,39659	82,67519	82,62216	83,2375	84,52121	86,4733	89,09375
24	80,69277	77,37279	74,72119	72,73795	71,42308	70,77659	70,79847	71,48872	72,84734	74,87433	77,56969
28	71,80515	68,56008	65,98338	64,07505	62,83509	62,26351	62,36029	63,12545	64,55898	66,60088	69,43115
32	66,30304	63,13287	60,63108	58,79766	57,63261	57,13594	57,30763	58,14769	59,65613	61,83294	64,67812
36	64,18644	61,09119	58,6643	56,90579	55,81565	55,39388	55,64048	56,55545	58,1388	60,39051	63,3106
40	65,45536	62,43501	60,0304	58,39943	57,3842	57,03734	57,35885	58,34873	60,00698	62,3336	65,3286

Таблиця 6

Значення еластичності в'язучого при 0°C на поверхні функції відгуку Y_2 , %

	Концентрація полістирольного пилю, %										
	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
0	1,780844	6,6128788	13,846753	19,920779	24,834957	28,589286	31,183766	32,618398	32,893182	32,00817	29,963203
4	1,3458442	9,8382468	17,170801	23,343506	28,356364	32,203972	34,902532	36,435844	36,809307	36,022922	34,076688
8	3,8069697	12,398052	19,829286	26,100671	31,212208	35,363896	37,955736	39,587727	40,05987	39,372165	37,52461
12	5,6025325	14,292294	21,822208	28,192273	33,402489	37,452857	40,343377	42,074048	42,64487	42,05844	40,0697
16	6,7325325	15,520974	23,149567	29,618312	34,927208	39,076255	42,065455	43,894805	44,564307	44,073961	42,423766
20	7,1969697	16,084091	23,811364	30,378788	35,786364	40,034091	43,12197	45,05	45,818382	45,426815	43,875
24	6,9958442	15,981645	23,807597	30,473701	35,979957	40,326364	43,512922	45,539632	46,406494	46,13506	44,60671
28	6,1291558	15,213636	23,138268	29,903052	35,507987	39,953074	43,23312	45,363701	46,329242	46,134935	44,780779
32	4,5969048	13,780065	21,803377	28,66684	34,370455	38,914221	42,298139	44,522208	45,586429	45,490801	44,235325
36	2,3990909	11,680931	19,802922	26,765065	32,567359	37,209805	40,692403	43,015152	44,178052	44,181104	43,024307
40	0,464286	8,9162338	17,136905	24,197727	30,098701	34,839827	38,421804	40,842532	42,104113	42,20844	41,147727

Таблиця 7

Значення температури розм'якшення в'язучого на поверхні функції відгуку Y_3 , °C

	Концентрація полістирольного пилю, %										
	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
0	17,611472	20,188009	22,375844	24,174978	25,585411	26,607143	27,240173	27,484302	27,34013	26,807056	25,885281
4	17,622338	20,277013	22,542987	24,42026	25,908831	27,008701	27,71987	28,042338	27,976104	27,521169	26,677532
8	17,766407	20,499221	22,843333	24,798745	26,365455	27,543463	28,332771	28,733377	28,745281	28,368485	27,602987
12	18,04368	20,854632	23,276883	25,310433	26,955281	28,211429	29,078874	29,557699	29,647862	29,349004	28,666645
16	18,454156	21,343247	23,843636	25,955325	27,678312	29,012997	29,988382	30,515065	30,683247	30,462727	29,853506
20	18,997835	21,965065	24,543593	26,73342	28,534545	29,94697	30,970093	31,605714	31,852033	31,709654	31,178571
24	19,674719	22,720087	25,376753	27,644719	29,523983	31,014545	32,116407	32,829567	33,154026	33,089784	32,63684
28	20,484805	23,608312	26,343117	28,689221	30,646623	32,215325	33,395325	34,186623	34,589221	34,603117	34,228312
32	21,428095	24,62974	27,442684	29,866926	31,902468	33,549307	34,807446	35,676883	36,157619	36,249654	35,952987
36	22,504589	25,784372	28,675455	31,177835	33,291515	35,016494	36,352771	37,300346	37,859221	38,029594	37,880866
40	23,714286	27,072208	30,041429	32,621948	34,813766	36,616883	38,01299	39,057013	39,694026	39,942338	39,808948

Допустимі (оптимальні) значення масових концентрацій ПС (X_2) та КВ (X_3) для кожного параметра оптимізації (Y_1 - Y_3) визначали згідно з граничними значеннями функцій відгуку (табл. 2, в табл. 5-7 ці значення виділено заливкою) і вносили до табл. 8. Параметри оптимізації при умовних в'язкостях дьогтю $C_{30}^{10}=50$ с та $C_{30}^{10}=250$ с мали аналогічні значення.

За допомогою метода інтервалів встановлено, що оптимальною системою «кам'яновугільний дьоготь - полістирольний пил (ПС) - коксове вугілля (КВ)» буде за масових концентрацій 1,6-4,0% ПС (X_2) та 24-28% КВ (X_3) (табл. 8).

Область допустимих значень масових концентрацій полістирольного пилю (X_2) та коксового вугілля (X_3)

Параметр оптимізації	Фактори варіювання	
	Масова концентрація полістирольного пилю, %, (X_2)	Масова концентрація коксового вугілля, %, (X_3)
Глибина проникнення голки у в'язуче при 0°C, градуси шкали пенетрометра, (Y_1)	$0 < X_2 < 4$	$0 < X_3 < 8$
Еластичність в'язучого при 0°C, %, (Y_2)	$1,6 < X_2 < 4$	$0 < X_3 < 40$
Температура розм'якшення в'язучого, °C, (Y_3)	$1,6 < X_2 < 4$	$24 < X_3 < 40$

Висновки та напрямок подальших досліджень. Вперше проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію системи «кам'яновугільний дьоготь – полістирольний пил (ПС) – коксове вугілля (КВ)». За допомогою методів математичного планування експерименту на підставі розробленої математичної моделі та розрахованих й побудованих тривимірних діаграм «параметри оптимізації системи - фактори варіювання» доведено, що оптимальними концентраціями полістирольного пилю в кам'яновугільних дьогтях в'язкостями $C_{30}^{10} = 50-250$ с є 1,6-4,0%, а коксового вугілля - 24-28%.

Подальші дослідження будуть присвячені виявленню доцільності застосування оптимальних дегтеполістирольних в'язучих, наповнених коксовим вугіллем, для зміцнення основ автомобільних доріг з горілих порід шахтних териконів.

Список літератури

1. **Пактер М.К.** Перспективы получения дорожных органических вяжущих на основе твердых горючих ископаемых. I. Коксохимическое сырье / **М.К. Пактер, В.И. Братчун, В.Л. Беспалов** и др. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2010. – Вип. 1 (81). – С. 22-35.
2. **Володько В.П.** Применение дегтеполимерных вяжущих при устройстве дорожных покрытий [В.П. Володько, А.Л. Хорошуля, М.Д. Круцык и др.] // Автомобильные дороги, 1979. – № 10. – С. 24-25.
3. **Даценко В.М.** Дьогтеполімерні 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.
4. **Братчун В.І.** Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: Монографія / **В.І. Братчун, В.О. Золотарьов, М.К. Пактер та ін.**. – МОН України, Макіївка – Харків: ДонНАБА, 2011. – 366 с.
5. **Гохман, Л.М.** Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС / **Л. М. Гохман** // Учебное пособие. — М.: ЗАО «ЭКОНОМ - ИНФОРМ», 2004. – 510 с.
6. **Братчун В.И.** Модифицированные дегти и дегтебетоны повышенной долговечности: Монография / **В.І. Братчун, В.И., Золотарев**. – МОН України, Макеевка: ДонГАСА, 1998. – 226 с.
7. **Повзун О.І.** Горілі породи, укріплені кам'яновугільним в'язучим, – ефективний конгломерат в основах автомобільних доріг / **Повзун О.І., Вірич С.О., Кононихін С.В.** // Вісник КНУ. – Кривий ріг, 2015. – Вип. 39. – С. 8-13.
8. **Повзун О.І.** В'язуче для укріплення горілих порід шахтних териконів в основах дорожніх одягів / **О.І. Повзун, О.С. Парфенюк, С.О. Вірич та ін.** // Вісник КНУ. – Кривий ріг, 2016. – Вип. 41. – С. 59-64.
9. **Повзун О.І.** Оптимальне кам'яновугільне в'язуче, модифіковане відходами виробництва полістиролу, для укріплення горілопородних основ автомобільних доріг / **О.І. Повзун, С.В. Подкопаяєв, О.В. Фролов та ін.** // Гірничий вісник. – Кривий Ріг, 2016. – Вип. 101. – С. 111-118.
10. **Золотарев В.А.** Испытания дорожно-строительных материалов: лабораторный практикум; учебное пособие / **В.А. Золотарев, В.И. Братчун, А.В. Космин и др.**; под редакцией **В.А. Золотарева, А.В. Космина**. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – 368 с.
11. **Гохман Л.М.** Влияние эластичности органических вяжущих на накопление остаточных деформаций в би-нарных смесях / **Л.М. Гохман** // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2011. – № 1. – С. 31-33.
12. **Голикова Т.И.** Свойства D - оптимальных планов и методы их построения / **Т.И. Голикова, Н.Г. Микешина** // Новые идеи в планировании эксперимента. – М.: 1969. – С. 34-39.
13. **Кафаров В. В.** Методы кибернетики в химии и химической технологии / **В.В. Кафаров**. – М.: Химия, 1971. – 496 с.
14. **Налимов В.В.** Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / **В.В. Налимов, Н.А. Чернова**. – М.: Наука, 1965. – 30 с.
15. **Рузинов, Л.П.** Планирование эксперимента в химии и химической технологи [Текст] / **Л.П. Рузинов, Р.И. Слободчикова**. – М.: Химия, 1980.

Рукопис подано до редакції 06.04.2018