

## Список литературы

1. Данилевский В.А. Картонная и бумажная тара / В.А. Данилевский – М., Лесная промышленность. 1970. - 214 с.
  2. Тарасова О.И. Придание влагопрочности бумаге для гофрирования восковыми сплавами в производстве влагопрочного гофрированного картона / О.И. Тарасова – Дисс. канд. техн. наук, Л., 1976. - 192 с.
  3. Патент. Великобритания, №1502599, МКИВ05с, 5/00. Водоотталкивающий качественный картон и устройство для его изготовления. Опубликовано 01.03.78.
  4. Патент. Япония, №50-27084, МКИВ32В31/00. Устройство для придания картону влагопрочности. Опубликовано 03.10.68.
  5. Бондарев А.И. Производство бумаги и картона с покрытием / А.И. Бондарев. – М.: Лесная промышленность, 1985. – 188с.
  6. Мартиросов Р.А. Работы по улучшению качества и освоению производства парафинового состава для иммигранирования гофрокартона / Р. Мартиросов, Р. Гладышев // - Сб. реф. НИР и ОКР : лесная, целлюлозно-бумажная и деревообрабатывающая промышленность. – М., 1980.- с.4
  7. Тарасова О.И. Критерии оценки влагопрочности гофрированного картона / О.И. Тарасова// Сб. трудов ВНИЭКИТУ. – Калуга, 1974.-Вып.11.с.67-71.
  8. Кузнецова Я.Д. Использование различных парафиновых составов для обработки гофрированного картона. / Я.Д. Кузнецова, .. Демченко Н.С., Тимохина Т.В. // Новое в технологии технических и тароупаковочных видов бумаги и картона. Сб. трудов ВНИИБ.-Л.,1978.-с.49-52.
  9. Русакова Л.А. Восковые покрытия для упаковки продуктов питания / Л.А. Русакова, Е.В. Кузнецов, Н.И. Вологодская // Научные проблемы создания прогрессивных видов тары: Сб. трудов ВНИЭКИТУ – Калуга, 1975.- Вып. 12. С.65-69.
  10. Жидецкий В.Ц. Основы охорони праці / В.Ц. Жидецкий, О.В. Мельников, В.С. Джигрей.-Львів: Афіша, 2000.-350с.
  11. Лесенко Г.Г. Инженерно-технические средства безопасности труда / Г.Г. Лесенко, Ю.С. Паньковский, В.Н. Петров. - К.: Техніка, 1983.-126с.
- Рукопись поступила в редакцию 28.03.16

УДК 622 - 032. 35: 502. 7

О.І. ПОВЗУН, канд. техн. наук, доц., С.В. ПОДКОПАЄВ, д-р техн. наук, проф.,  
О.В. ФРОЛОВ, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»,  
С.В. КОНОНИХІН, канд. техн. наук, доц., Красноармійський індустріальний інститут  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»,  
М.А. ГЛАЗУНОВА, студент, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

## ОПТИМАЛЬНОЕ КАМ'ЯНОВУГІЛЬНЕ В'ЯЖУЧЕ, МОДИФІКОВАНЕ ВІДХОДАМИ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІСТИРОЛУ ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ ГОРІЛОПОРОДНИХ ОСНОВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

При оптимізації модифікованого полістирольним пилом кам'яновугільного в'язучого як фактори варіювання було прийнято: умовна в'язкість дьогтю за  $C_{30}^{10}$ , с; масова концентрація полістиролу, %; час приготування дьогтеполістирольного в'язучого, хвилини. Параметрами оптимізації є: температура розм'якшення в'язучого, °С; еластичність в'язучого при 0 °С, %; розтяжність в'язучого при 0 °С, м; водонасичення дьогтеполістиролбетону, %; границя міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 20 °С, МПа; коефіцієнт тривалої водостійкості дьогтеполістиролбетону. Оптимальні склади системи «дьоготь - ПС» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ .

Коефіцієнти рівнянь регресії обчислено за методом найменших квадратів. Рівняння регресії представляють собою поліном другого ступеня. Одержані рівняння регресії перевірено на адекватність і задовольняють критерію Фішера. Розраховано й побудовано тривимірні діаграми «параметр оптимізації системи – фактори варіювання». Відповідно до отриманих рівнянь регресії побудовано поверхні відклику. Оптимальною системою «дьоготь - полістирол» є 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. За фізико-механічними властивостями таке в'язуче наближається до дорожніх нафтових бітумів.

**Ключові слова:** транспортний процес, руйнування, міцність, горілі породи, в'язуче, відходи полістиролу

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Зростання навантажень, інтенсивності і швидкостей приводить до посиленого впливу транспортних засобів на

покриття автомобільних доріг, яке, спільно з погодно - кліматичними чинниками, сприяє накопиченню пластичних деформацій у спекотну пору року та утворенню тріщин - в холодну.

У зв'язку з тим, що основний вплив на деформативну здатність органобетону надають структурні особливості органічної в'язучої речовини, більше значення мають розробки спеціальних складів в'язучого, що дозволить одержати матеріал з необхідним комплексом транспортно-експлуатаційних властивостей та розвинути мережу автомобільних доріг, особливо за умов обмеженого фінансування [1].

Наразі одним з найефективніших напрямків поліпшення властивостей органічних в'язучих є їхня модифікація полімерами різних класів. Модифікація знижує чутливість в'язучої речовини до змін температури та тривалості навантаження, підвищує їхню когезію, що характеризує опір шарів фізичного тіла переміщенню одне відносно одного на молекулярному рівні, надає пружності та поліпшує низькотемпературну поведінку [2].

Зі зростанням в'язкості у кам'яновугільних дьогтів утворюється структура, про що свідчить поява аномалії в'язкості, дійсної границі текучості [3]. Очевидно, що з підвищенням в'язкості органічних в'язучих матеріалів знижується і швидкість накопичення залишкових деформацій в матеріалах на їхній основі [4].

Однаковий вміст полімеру в органічній речовині різної консистенції призводить до тим більшої зміни в'язкості, температури розм'якшення й когезії, чим нижча консистенція немодифікованого в'язучого. Це свідчить про переважний внесок вихідного в'язучого у формування властивостей органополімерного в'язучого при прийнятій кількості полімеру [5].

Немодифіковані полімером органічні в'язучі не мають еластичності. Еластичність, що проявляється під час випробування на розтяг, коли зразок в'язучого відновлює початкову довжину після розвантаження, є дуже важливою властивістю при дії багатократних повторних навантажень від автотранспортних засобів [6].

Внесення до органічної речовини полімеру здатне уповільнити процеси старіння в'язучого, попереджуючи випаровування його легких фракцій, сольватованих полімером, і може затримати кисневе і полімеризаційне старіння за рахунок зниження швидкості дифузії вільних радикалів і кисню в об'ємі модифікованого полімером в'язучого [7].

З підвищенням вмісту полімеру старіння в'язучих знижується: в середньому приріст температури розм'якшення після старіння з 4,4-4,6 °С для безполімерної матриці падає до 0,1-0,4 °С, а залишкова в'язкість зростає до 99 % проти 46-49% у вихідної пластифікованої смоли [8].

Полімербетони на кам'яновугільних в'язучих також менш схильні до старіння під впливом сонячного випромінювання, ніж традиційні дьогтебетони [9]. Це пов'язано з тим, що макромолекули полімеру сорбують частку легких компонентів в'язучого, і внаслідок низької відкритої пористості утруднений доступ кисню до нього.

Модифікація органічних в'язучих полімерами сприяє підвищенню зсувостійкості та тріщиностійкості бетонів на їхній основі [10], [11].

З метою забезпечення можливості застосування нових органічних в'язучих за існуючої технології їхнє використання необхідно, щоб вони за своїми технологічними властивостями, токсичністю і пожежонебезпекою, - не погіршили б умови виробництва робіт, техніки безпеки, охорони навколишнього середовища у порівнянні з використанням традиційних немодифікованих в'язучих [12].

**Аналіз досліджень та публікацій.** Наразі в Україні у промисловому масштабі здійснюється переробка кам'яного вугілля методом високотемпературного коксування [13]. Кам'яновугільна смола, що при цьому виходить, є джерелом одержання дорожніх органічних в'язучих - кам'яновугільних дорожніх дьогтів за ГОСТ 4641.

Дьогтебетони на немодифікованих кам'яновугільних дьогтях поступаються асфальтобетонам. Не останню роль відіграють більш висока леткість кам'яновугільних дьогтів і, як наслідок, підвищені токсичність і помітне забруднення навколишнього середовища під час виробництва і використання дьогтебетонів [13].

Дьогті, як і бітуми, можна віднести до дисперсних систем [14], властивості яких визначаються хімічним складом, молекулярною структурою складових компонентів і надмолекулярною будовою структури [15].

Основні властивості системи: еластичність, пластичність, морозостійкість і адгезія до різних матеріалів визначається властивостями дисперсійного середовища, а теплостійкість та ме-

ханічна міцність – властивостями дисперсної фази [16]. Максимальні значення еластичності в'язучого свідчать про найефективнішу роботу полімеру, а імовірною причиною її зниження при підвищенні температури є початок процесів термодеструкції полімеру, що узгоджується з даними [17].

За хронологією опублікованих наукових праць, кам'яновугільні дьогті модифікували полівінілхлоридом та епоксидною смолою ЕД-6 [18]; відходами виробництва полімерів вінілової групи [19]; відходами виробництва полімерів і сополімерів вінілхлориду [20]; відходами виробництва полістиролу [21]; полістирольним пилом та кубовими залишками ректифікації стиrolу [22], [23]; смоли випалювальних печей відходами виробництва полівінілхлориду, перхлорвінілу або полістиролу [24]; відходами виробництва полімерів фенілетилену [25]; відходами виробництва стиrolу та полістиролу [26].

У роботі [27] показано доцільність укріплення горілих порід шахтних териконів кам'яновугільним в'язучим, модифікованим відходами виробництва полістиролу, для влаштування основ дорожніх одягів. У роботі [28] вивчено процеси структуроутворення в кам'яновугільних в'язучих, модифікованих відходами полістиролу (полістирольним пилом).

**Постановка завдань.** Механізм взаємодії полімеру з органічною в'язучою речовиною полягає в тому, що набряклий в  $\gamma$ -фракції кам'яновугільного дьогтю полімер утворює в системі безперервну фазу у вигляді сітки-каркасу. Суміщення компонентів такої композиції необхідно проводити у рідкому стані, коли обидва компоненти будуть розплавлені [16]. Якщо вводити полімер у більшій кількості, ніж він може розчинитися, вийде грубодисперсна система, в якій під час охолодження утворюються згустки полімеру, що є непотрібним наповнювачем [16].

*Метою даної роботи є оптимізація кам'яновугільного в'язучого, одержуючи дьогтеполістирольне в'язуче, яке за фізико-механічними властивостями і екологічними характеристиками наблизатиметься до бітуму нафтового дорожнього.*

Використовуючи метод математичного планування експерименту, завданнями досліджень 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 матеріалу та результати.** У даній роботі як об'єкт дослідження було прийнято:

середовище, що модифікується - кам'яновугільні дьогті, складені із 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 стиrolу, що утворюється під час відстоювання стічних вод.

Дьогтеполімерне (дьогтеполістирольне) в'язуче (ДПВ) готували суміщенням кам'яновугільних дьогтів з полімером (від 0 до 10%) при температурі 105-110 °С впродовж 5-145 хвилин.

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

Таблиця 1

Значення факторів варіювання

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

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

Таблиця 2

Параметри оптимізації системи

Код параметра оптимізації	Фізичний зміст параметра оптимізації	Граничні значення функції відклику
$Y_1$	Температура розм'якшення в'язучого, °С	Не менше 33
$Y_2$	Еластичність в'язучого при 0°С, %	Не менше 25
$Y_3$	Розтяжність в'язучого при 0 °С, м	Не менше 0,9
$Y_4$	Водонасичення дьогтеполістиролбетону, %	Не більше 2,0
$Y_5$	Границя міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 20°С, МПа	Не менше 2,2
$Y_6$	Коефіцієнт тривалої водостійкості дьогтеполістиролбетону	Не менше 0,75

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

За критерій оптимальності плану прийнято критерій  $D$ -оптимальності, який пов'язаний з мінімізацією об'єму еліпсоїду розсіювання оцінок параметрів рівнянь регресії [29]. За методом найменших квадратів обчислено коефіцієнти рівнянь регресії за виразом [30]

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

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.

Таблиця 3

Матриця плану експерименту і отримані значення параметрів оптимізації

$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{31}$	$Y_{32}$	$Y_{41}$	$Y_{42}$	$Y_{51}$	$Y_{52}$	$Y_{61}$	$Y_{62}$
-1	-1	-1	10	12	0	0	0,98	1,00	3,0	3,6	1,5	1,7	0,3	0,5
0	-1	0	18	22	0	0	1,00	0,96	2,2	1,8	2,5	2,1	0,7	0,5
1	-1	1	22	24	0	0	0,01	0,03	1,9	2,1	2,2	2,6	0,8	0,6
-1	0	0	21	25	26	24	1,00	0,96	2,2	1,8	2,5	2,1	1,0	0,6
0	0	1	29	25	2	4	0,03	0,01	1,7	2,3	2,1	2,7	0,7	0,9
1	0	-1	31	35	13	11	1,00	0,97	3,1	3,5	1,4	1,8	0,6	0,4
-1	1	1	29	25	4	2	0,01	0,03	2,2	1,8	2,6	2,2	0,7	0,9
0	1	-1	33	29	10	14	0,06	0,04	3,6	3,0	1,8	1,2	0,7	0,5
1	1	0	33	37	9	7	0,97	1,00	2,2	1,8	1,8	1,4	0,5	0,9
-1	-1	1	12	10	0	0	0,04	0,02	1,7	2,3	2,1	2,7	0,6	0,4
1	-1	-1	20	24	0	0	0,96	1,00	3,6	3,0	1,2	1,8	0,7	0,5
-1	1	-1	26	28	7	9	1,00	0,97	3,1	3,5	1,8	1,4	0,4	0,6
1	1	1	37	33	4	2	0,03	0,01	1,8	2,2	2,7	2,1	0,9	0,7

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 кожного параметра оптимізації мають такий вигляд

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

$$Y_2 = 14,9 - 1,09 X_1 + 3,39 X_2 - 2,28 X_3 - 0,24 X_1 X_2 + 0,054 X_1 X_3 - 2,07 X_2 X_3 + 3,91 X_1^2 - 9,65 X_2^2 - 6,24 X_3^2;$$

$$Y_3 = 0,879 - 0,010 X_1 - 0,098 X_2 - 0,384 X_3 - 0,043 X_1 X_2 + 0,046 X_1 X_3 + 0,089 X_2 X_3 + 0,311 X_1^2 - 0,135 X_2^2 - 0,614 X_3^2;$$

$$Y_4 = 2,0 - 0,65 X_3 + 4,55 X_1 X_3 + 9,08 X_2 X_3 + 31,50 X_1^2 - 13,74 X_2^2 + 0,65 X_3^2;$$

$$Y_5 = 2,222 - 0,083 X_1 - 0,075 X_2 + 0,426 X_3 - 0,062 X_1 X_2 + 0,050 X_1 X_3 + 0,033 X_2 X_3 - 0,072 X_1^2 - 0,130 X_2^2 - 0,086 X_3^2$$

$$Y_6 = 0,789 - 0,025 X_1 - 0,058 X_2 + 0,106 X_3 - 0,057 X_1 X_2 + 0,014 X_1 X_3 + 0,048 X_2 X_3 - 0,036 X_1^2 - 0,069 X_2^2 - 0,091 X_3^2.$$

Одержані рівняння регресії адекватні і задовольняють критерію Фішера; результати їх обробки подано в табл. 4.

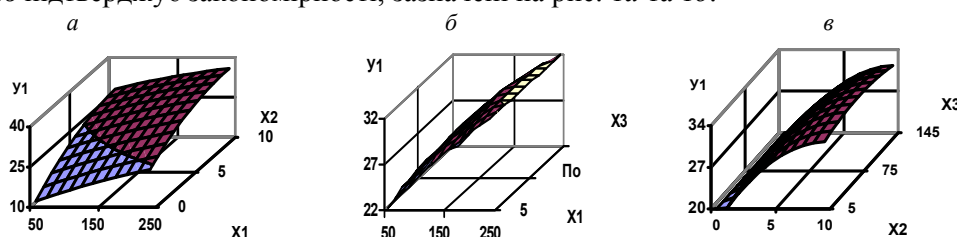
Статистичні показники результатів обробки отриманих експериментальних даних

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
$F_{\text{Фішера}} = D_{\text{досл.}} / D_{\text{адекв.}}$	14,418	0,1023	0,0276	16,8	10,2420	12,6938

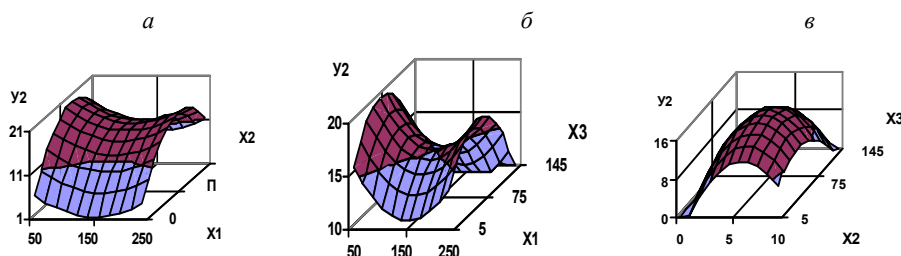
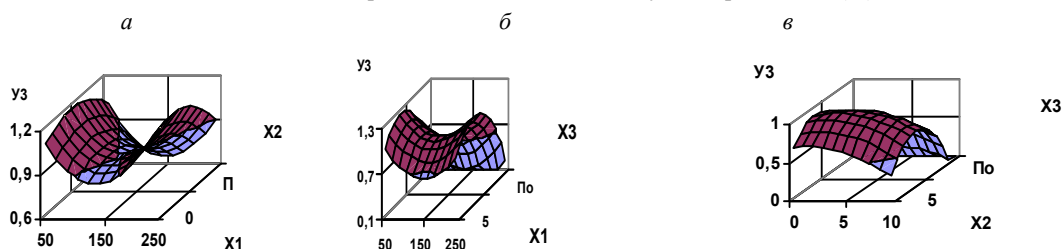
Відповідно до отриманих рівнянь регресії побудовано поверхні відклику (рис. 1-6), які показують залежність відповідного параметра оптимізації ( $Y_1$ - $Y_6$ ) від умовної в'язкості дьогтю за  $C_{30}^{10}$   $X_1$ , масової концентрації полістиролу  $X_2$  і часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого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

З підвищенням умовної в'язкості дьогтю  $X_1$  від 50 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 до 40 °С за майже прямою пропорційною залежністю (рис. 1а). Зі збільшенням часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого  $X_3$  від 5 до 145 хв. вона зростає від 28 до 32 °С (рис. 1б).

Рис. 1в підтверджує закономірності, зазначені на рис. 1а та 1б.

Рис. 1. Діаграма для температури розм'якшення в'язучого, °С  $Y_1$ 

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 полістиролу  $X_2$  5 % та часі приготування дьогтеполістирольного в'язучого  $X_3$  впродовж 75 хвилин.

Рис. 2. Діаграма для еластичності в'язучого при 0 °С, % ( $Y_2$ )Рис. 3. Діаграма для розтяжності в'язучого при 0 °С, м ( $Y_3$ )

При збільшенні часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого  $X_3$  від 5 до 75 хвилин водонасичення дьогтеполімербетону  $Y_4$  зменшується від 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 до 250 с за  $C_{30}^{10}$  і масової концентрації полістиролу  $X_2$  від 0 до 10 % не змінює водонасичення дьогтеполімербетону  $Y_4$ .

Тривимірні діаграми рис. 4а відсутні, тому що коефіцієнти рівняння регресії для  $Y_4$  при  $X_1$  та  $X_2$  дорівнюють 0. Це означає, що на водонасичення дьогтеполімербетону ці фактори не впливають.

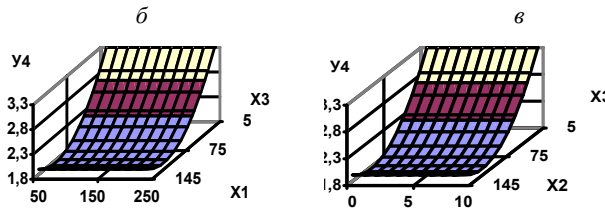


Рис. 4. Діаграма для водонасичення дьогтеполімербетону, %  $Y_4$

Поверхня функції відклику границі міцності дьогтеполімербетону на стиск при 20 °С, МПа  $Y_5$  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. 5а).

З підвищенням часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого  $X_3$  від 5 до 145 хвилин зазначений параметр оптимізації змінюється від 1,5 до 2,5 МПа майже лінійно (рис. 5б,в).

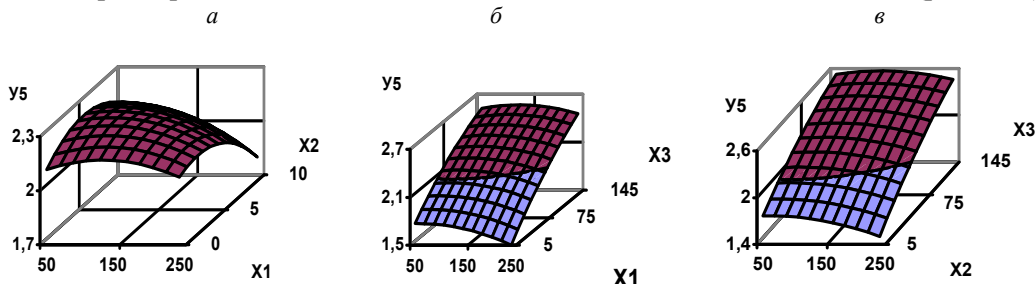


Рис. 5. Діаграма для границі міцності дьогтеполістиролбетону на стиск при 20 °С, МПа ( $Y_5$ )

Коефіцієнт тривалої водостійкості дьогтеполімербетону  $Y_6$  досягає екстремального значення (0,78) при умовній в'язкості дьогтю  $X_1$  за  $C_{30}^{10}=75$  с та масовій концентрації полістиролу ( $X_2$ ) 10 % (рис. 6а).

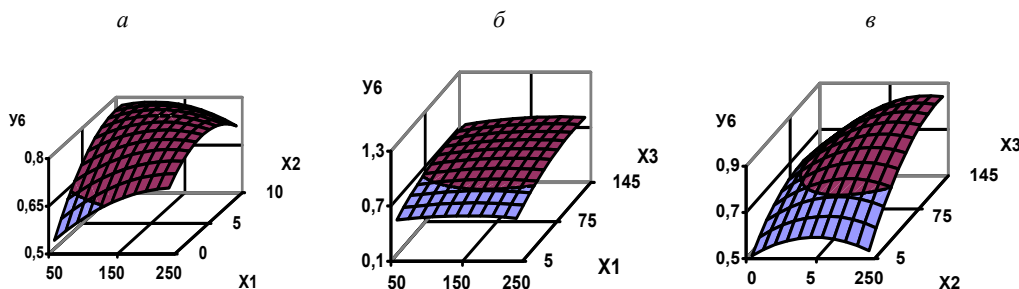


Рис. 6. Діаграма для коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполістиролбетону ( $Y_6$ )

Збільшення умовної в'язкості дьогтю  $X_1$  з 50 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 відклику стає похилою).

Підвищення часу приготування дьогтеполістирольного в'язучого  $X_3$  з 5 до 145 хвилин сприяє збільшенню коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполімербетону  $Y_6$  від 0,55 до максимального значення 0,85 при умовній в'язкості дьогтю ( $X_1$ ) за  $C_{30}^{10}=250$  с та масовій концентрації полістиролу ( $X_2$ ) 10% (рис. 6б,в).

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

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** 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

дьюгтях є 4,0-6,0% відповідно до їхніх в'язкостей  $C_{30}^{10}=75-250$  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 бітумів нафтових дорожніх.

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 частково поглинаються введеним полістиролом).

Застосування відходів виробництв для модифікації рідких кам'яновугільних в'язучих дозволяє: збільшити вихід кондиційного в'язучого; підвищити продуктивність праці технологічного переділу з виробництва в'язучих; знизити собівартість виробництва дьогтебетонних сумішей; забезпечити ефективне використання рідких дьогтів з низькими експлуатаційними показниками; поліпшити умови праці на асфальтобетонних заводах; здійснити утилізацію відходів вугільної промисловості та відходів побічних продуктів ряду виробництв.

#### Список літератури

1. **Гамеляк І.П.** Надійність конструкції дорожнього одягу. Частина 1. Проектна та технологічна надійність / **І.П. Гамеляк** // Автошляховик України. – 2006. - № 5. – С. 39-41.
2. **Кіщинський С.В.** Поліпшення властивостей бітумів шляхом модифікації полімерною добавкою на основі вторинного поліетилену / **С.В. Кіщинський** // Вестник ХНАДУ. – 2006. - № 34-35.
3. **Веренько В.А.** Применение дегтей повышенной вязкости для устройства оснований / **В.А. Веренько, И.К. Яцевич, В.А. Тарас** // Автомобильные дороги. – 1984. - № 3. – С. 14-15.
4. **Гохман Л.М.** Влияние эластичности органических вяжущих на накопление остаточных деформаций в бинарных смесях / **Л.М. Гохман** // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2011. - № 1. – С. 31-33.
5. **Dony A.** Bitumes-polimeres. Adapton gos tests du techniques d'aujourd' hur / **A. Dony, C. Tunnel** // 5<sup>th</sup> Eurobitume Congres. – Stockhlm. – Vol. 1A. – pp. 67-70.
6. **Радовский Б.С.** Проблема повышения долговечности дорожных одежд и методы ее решения в США / **Б.С. Радовский** // Дорожная техника. – 2006. - № 4. – С. 108-118.
7. **Görkem I.C.** Determination of moisture susceptibility characteristics of polymer modified hot-mixed asphalt / **I.C. Görkem, V. Sengöz** // Deü mühendislik fakültesifene mühendislik dergisi Cilt. – 2008. - Say 3. – pp. 59-72.
8. **Оксак С.В.** Устойчивость смолополимерных вяжущих при повышенных температурах / **С.В. Оксак** // Вестник ХНАДУ. – 2006. - № 34-35.
9. **Гуляк Д.В.** Стабилизация процессов старения бетонных смесей и бетонов на каменноугольных вяжущих / **Д.В. Гуляк** // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. - № 1 (81). – С. 208-212.
10. **Золотарев В.А.** Свойства битумов, модифицированных полимерами типа СБС / **В.А. Золотарев** // Автошляховик України. – 2003. - № 5 (175). – С. 25-27.
11. **Золотарев В.А.** Влияние свойств битумополимерных вяжущих на сдвигустойчивость асфальтобетона / **В.А. Золотарев** // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2004. - № 2. – С. 27-30.
12. **Гохман Л.М.** Требования к дорожным органическим вяжущим материалам и смесям на их основе / **Л.М. Гохман** // Вестник ХНАДУ. – 2006. - № 34-35.
13. **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, 2010. – Вип. 1 (81). – С. 22-35.
14. **Гохман Л.М.** Требования к дорожным каменноугольным дегтям / **Л.М. Гохман** // Автомобильные дороги. – 1983. - № 1. – С. 10-11.
15. **Братчун В.И.** Особенности структуры и свойств каменноугольных дегтей / **В.И. Братчун, А.Н. Бачурин** // Автомобильные дороги, 1984. - № 11. – С. 13-14.
16. **Розенталь Д.А.** Особенности приготовления полимербитумных композиций / **Д.А. Розенталь, С.В. Дронов, А.А. Иванов** // Строительные материалы, 2004. - № 9. – С. 13-14.
17. **Becker Yvonne.** Polymer modified asphalt / **Yvonne Becker, Maryo P. Méndez, Yajaira Rodrigues** // Vision tecnologica, 2001. – Vol. 9. - № 1. – pp. 39-50.
18. **Колчанов А.Г.** Применение полимеров при поверхностной обработке / **А.Г. Колчанов** // Автомобильные дороги, 1971. - № 11. – С. 21-22.
19. **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.
20. **Ключников И.Ф.** Улучшение качества каменноугольных вяжущих / **И.Ф. Ключников, С.В. Егоров, В.П. Володько** // Автомобильные дороги, 1983. - № 7. – С.10-11.

21. Думанский А.М. Использование отходов производства полистирола для повышения качества дегтей и дегтебетонов / А.М. Думанский, В.М. Даценко, В.П. Володько // Тезисы докладов всесоюзной конференции «Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов».- Харьков, ХАДИ, 1983. – С. 91-92.
22. Володько В.П. Каменноугольные дегти, модифицированные отходами производства фенолэтилена и его полимеров / В.П. Володько, А.М. Думанский, В.В. Комаров и др. // Автомобильные дороги, 1985. - № 6. – С. 3-5.
23. Думанский А.М. Модификация каменноугольных дегтей добавками отходов производства стирола / А.М. Думанский, В.П. Володько, Т.В. Поличковская // Автотролник Украино, 1987. - № 4 – С. 27-28.
24. Володько В.П. Вяжущие материалы из смолы обжиговых печей / В.П. Володько, В.М. Даценко // Тезисы докладов республиканской конференции «Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов». – Харьков, ХАДИ, 1989. – С. 83-84.
25. 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.
26. 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.
27. Повзун О.І. Горілі породи, укріплені кам'яновугільним в'язучим, – ефективний конгломерат в основах автомобільних доріг / Повзун О.І., Вірич С.О., Кононіхін С.В. // Вісник КНУ. – Кривий Ріг, 2015. – Вип. 39. – С. 8-13.
28. 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.
29. 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.
30. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров. – М.:Химия, 1971. – 496 с.

Рукопис подано до редакції 17.03.16

УДК 697.1 (035.5)

О.М. ГОЛИШЕВ, д-р техн. наук, проф.,  
А.О. ГОЛИШЕВ, Д.В. МИХАЛКІВ, старші викладачі,  
Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ САНІТАРНО-ГІГІЄНИЧНИХ ВИМОГ НА КОНСТРУКТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ПОВІТРЯНОГО ОПАЛЕННЯ В УМОВАХ РІЗНИХ ТИПІВ БУДІВЕЛЬ

Розглянуто вплив рекомендованих нормативних значень температур припливного повітря в системах повітряного опалення, в тому числі і в системах суміщених з вентиляцією на конструктивні особливості систем. Відмічається, що для систем водяного та парового опалення, які мають своєю сутністю систему з проміжним теплоносієм – водою або водяною парою відповідно, в нормативних документах допускаються більш високі значення температурних графіків подачі теплоносія, що відповідно має результатом високі температури граючої поверхні опалювальних приладів, що значно перевищує допустимі значення температури повітря як теплоносія в системах повітряного опалення. Перевищення вказаних граничних нормативних значень температури припливного повітря у досліджуваних межах 80-100 °С відповідно істотно не впливає на якість повітря як середовища для перебування в ньому людини та дихання. При цьому в системах повітряного опалення практично відсутні значні площі поверхні контактного високотемпературного теплообміну, що може бути причиною погіршення якостей повітря та надходження в приміщення продуктів термічного розкладу пилу. Обмеження температури припливного повітря наведеними нормативними значеннями особливо впливає на експлуатаційні показники функціонування систем повітряного опалення з енергоефективним режимом «робочий-черговий» та значно збільшують час отримання нормованих параметрів температур в приміщеннях, також збільшується вартість системи опалення в цілому та витрати на експлуатацію через підвищений повітрообмін і відповідно більші типорозміри всіх конструктивних елементів, при цьому можливі перевищення рекомендованих значень рухливості повітря в приміщенні та погіршення якості повітря через збільшення циркуляції пилу разом з повітрям.

**Ключові слова:** повітряне опалення, температура припливного повітря, теплоутилізація, рекуперація

Відповідно з загальноприйнятою класифікацією [1-3] системи водяного опалення поділяються за способом підключення до джерела тепlopостачання на два типи: підключення за гідравлічно залежною та гідравлічно незалежною схемою. При гідравлічно залежній схемі підключення безпосередньо теплоносії (вода) проходить через джерелом тепlopостачання, де його температура підвищується до розрахункових значень, що можуть максимально складати 130-150 °С та подається в систему опалення, де через опалювальні прилади тепловий потік надходить в приміщення. Відповідно температура теплообмінних елементів теплогенератора для забезпечення зазначених температурних параметрів теплоносія повинна бути значно вища. При цьому системи водяного опалення по відношенню до обслуговуваних приміщень фактично є системами з проміжним теплоносієм, оскільки кінцевою метою їх функціонування є транспортуван-