

УДК 622 – 032. 35: 502. 7

О.І. ПОВЗУН (канд. техн. наук, доц.),
С.О. ВІРИЧ (канд. техн. наук, доц.),
С.В. КОНОНИХІН (канд. техн. наук, доц.)
Т.В. ГОРЯЧЕВА (ст. викладач)

Донецький національний технічний університет
Красноармійський індустріальний інститут

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ КОМПЛЕКСОГО КАМ'ЯНОВУГІЛЬНОГО В'ЯЖУЧОГО ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ ГОРІЛИХ ПОРІД ШАХТНИХ ТЕРИКОНІВ В ОСНОВАХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

У статті проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію системи «кам'яновугільний дьоготь – полімер (первинні відходи виробництва полівінілхлориду) – активний дисперсний наповнювач (деревний гідролізний лігнін – відхід спиртового і дріжджового виробництва)». Розраховано й побудовано тривимірні діаграми параметр оптимізації системи – фактори варіювання. За допомогою методів математичного планування експерименту визначено оптимальні концентраційні співвідношення між компонентами, що складають систему.

Ключові слова: модель математична, фактори варіювання, параметри оптимізації, функція відкриття, в'язуче кам'яновугільне, породи горілі, терикони шахтні.

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. У попередні роки значну частину чорних конструктивних шарів дорожніх одягів улаштовували з матеріалів на основі кам'яновугільних смол і дьогтів. Однак за фізико – механічними властивостями вони значно поступаються нафтовим бітумам [1] і мають низьку в'язкість [2], що призводить до втрати зсувостійкості влітку і накопиченню пластичних деформацій, а також підвищенню матеріаломісткості дорожнього одягу внаслідок низького значення модуля пружності бетону на таких в'язучих [3]. Застосування в основному малов'язких кам'яновугільних дьогтів сприяє підвищенню схильності бетону на кам'яновугільних в'язучих до старіння і його низькій теплостійкості, що викликає швидку появу крихких деформацій покриття взимку. Але при використанні дьогтебетону в нижніх шарах дорожнього одягу змінюються умови і режим роботи матеріалу (змінюється інтенсивність появи крихких деформацій). До таких умов відносяться: розрахункова нижня температура в нижньому шарі на 15 – 20 % вища за температуру покриття [4]; швидкість охолодження шару основи менше в 4 – 4,5 рази, ніж шару покриття [4]; відсутність безпосереднього контакту з атмосферою, в результаті чого інтенсивність старіння шару основи буде нижча за інтенсивність старіння шару покриття [3].

Кам'яновугільні дьогті підвищеної в'язкості мають кращі реологічні властивості і за якістю вони наближаються до бітумів. Зі зростанням в'язкості у кам'яновугільних дьогтях утворюється структура, про що свідчить поява аномалії в'язкої течії та дійсної границі текучості. Поліпшення властивостей кам'яновугільних дьогтів з підвищенням їхньої в'язкості є додатковою гарантією деформаційної стійкості дьогтебетону в основах дорожніх одягів.

Використання кам'яновугільних дьогтів дозволить вирішити проблему застосування місцевих кам'яних матеріалів і відходів, наприклад, вугільної промисловості для виробництва дьогтебетонів – пісків і гравійно – піщаних сумішей та горілих порід шахтних териконів. Обмеженням застосування дьогтебетонів на місцевих матеріалах є їхня низька зсувостійкість в літній період. Зсувостійкість бетону на кам'яновугільних в'язучих в основах дорожніх одягів буде забезпечена, якщо його міцність на стиск при + 50°C становитиме 0,2 – 0,5 МПа [3].

Найефективніше горілу породу використовувати після обробки її органічними в'язучими речовинами [5].

Особливістю горілих порід шахтних териконів є їхня висока мікроприсистість і, як наслідок, поява мікрощілин під час самовипалення [6]. Окрім того, вони мають достатньо високу адсорбційну активність. Завдяки цим властивостям їх можна використовувати при влаштуванні нижнього шару двошарових основ під асфальтобетонні покриття [7].

Багато з яких горілі породи мають в'язучі властивості, і вони добре ущільнюються під час уковчення; в результаті поліпшується гранулометричний склад горілої породи, утворюється значна кількість дрібняку, що сприяє природній цементації матеріалу [8], [9]. Мелені активовані

горілі породи можуть повністю замінити мінеральний порошок з вапняку при виробництві асфальтобетону без зниження його міцнісних характеристик [10]. Останні два чинники додатково підвищуватимуть зсувостійкість основ автомобільних доріг з горілих порід на кам'яновугільних в'язучих.

Промисловість будівельних матеріалів і виробів характеризується високою матеріаломісткістю і може забезпечити утилізацію великотоннажних техногенних відходів. В той самий час обсяги їхнього використання не перевищує 110 – 120 млн. т/рік, що становить 15 – 20 % їхнього річного виходу [11]. Це пов'язано з тим, що відходи вугільної промисловості мають вкрай неоднорідний склад, особливо за вмістом вугілля, що не згоріло, сернистого ангідриду, а також характеризуються різним ступенем випалу і вмістом сульфатів та сульфідів, які знижують довговічність будівельних матеріалів та конструкцій.

Аналіз досліджень і публікацій. Збільшення обсягу використання у дорожньому будівництві кам'яновугільних дьогтів, що мають відносно низьку в'язкість, потребувало розроблення ефективного в технологічному і екологічному аспекті способу підвищення їхньої в'язкості. Так, наприклад, введення в кам'яновугільний дьоготь певної кількості кам'яновугільного пилу і пеку, пилу виносу цементних печей, вапняку і шлаку дозволило підвищити його в'язкість, однак вимагало здійснення спеціальної попередньої обробки зазначених заповнювачів [12]. Застосування одержаного кам'яновугільного в'язучого ускладнювалось швидким випаданням в осад внесеного заповнювача і значною токсичністю ряду введених компонентів.

Якіснішим є кам'яновугільне в'язуче, яке виготовлене шляхом модифікації кам'яновугільного дьогтю фосфогіпсом – залишковим продуктом цеху амофосного виробництва титанового заводу – у кількості 10 – 30 % від маси кам'яновугільного дьогтю з одночасним перемішуванням впродовж 15 – 30 хвилин [12].

Одним з ефективних технологічних засобів поліпшення властивостей кам'яновугільних дьогтів є введення до їх складу у невеликій кількості полімерів або їх відходів, наприклад, полівінілхлориду [13] або первинних відходів його виробництва [14], епоксидної смоли [13], термопластичної полімерної смоли (особливо вінілової групи) [15], добавок відходів полістиролу [16 - 19], відходів виробництва фенілетилену [20], [21], смоли випалювальних печей [22] тощо.

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 дорожньобудівельний матеріал на основі полімерорганічної в'язучої речовини має підвищені стійкість проти утворення залишкової деформацій (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).

Ефективним засобом фізико – хімічної структурної модифікації кам'яновугільних дьогтів з метою максимальної реалізації потенційних властивостей органічних в'язучих коксохімічного виробництва є введення до їхнього складу комплексних добавок з полімерів, які суміщаються з ними, та активних дисперсних наповнювачів з високою структуруючою здатністю в дьогтеполімерних в'язучих [23], наприклад, кубових залишків дистиляції фталевого ангідриду [24], кам'яного вугілля різної стадії метаморфізму [24], деревного гідролізного лігніну [25].

Постановка задач дослідження. 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) [26]. 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, $r_{кр} \leq 0,3$. Як варіювані фактори було прийнято: температура розчинення t (°C), тривалість приготування кам'яновугільного в'язучого τ_p (с), концентрація полімеру m (%), дисперсність полімеру D (м²/кг), пекоантраценове відношення в кам'яновугільному дьогті ϕ . На підставі побудованих залежностей параметрів оптимізації від кожного з кодіваних факторів (з використанням рів-

нянь регресії) визначено оптимальну концентрацію ПВХ в кам'яновугільному в'язучому, яка становить 1,5 - 2,0 %.

В роботі [17] викладено технологічні режими приготування дьогтеполістирольних в'язучих (ДПВ), але за допомогою методів математичного планування експерименту визначення оптимальної концентрації відходів полістиролу в кам'яновугільних дьогтях різної в'язкості та терміну приготування дьогтеполістирольного в'язучого не було виконано.

На комплексні кам'яновугільні композиції впливають такі фактори:

- в'язкість вихідного кам'яновугільного дьогтю за C_{30}^{10} , с (секунди),

де 10 – діаметр стічного отвору, мм;

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

- концентрація полімеру;

- концентрація наповнювача.

Комплексні кам'яновугільні в'язучі є складними сполуками. Тому виникає необхідність в оптимізації їхніх складів за допомогою методів математичного планування експерименту з одержанням необхідного комплексу фізико – механічних властивостей таких в'язучих.

Метою даної роботи є розроблення математичної моделі для оптимізації системи «кам'яновугільний дьоготь – полівінілхлорид (ПВХ) – деревний гідролізний лігнін (ДГЛ)», отримуючи комплексне кам'яновугільне в'язуче, яке за фізико – механічними властивостями і екологічними характеристиками наблизатиметься до нафтового бітуму.

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

1. Виявлення оптимальної умовної в'язкості кам'яновугільного дьогтю за C_{30}^{10} , с;

2. Визначення оптимальної масової концентрації полімеру в кам'яновугільних дьогтях різної в'язкості, %;

3. Визначення оптимальної масової концентрації активного дисперсного наповнювача в дьогтеполівінілхлоридному в'язучому, %.

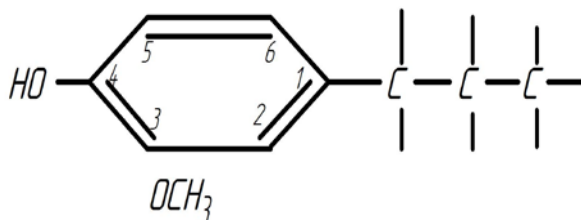
Викладення основного матеріалу та результати. В даній роботі як об'єкти дослідження було прийнято:

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

- полімер - первинні відходи виробництва полівінілхлориду (ПВХ) Дніпродзержинського об'єднання «Азот» з молекулярною масою $12 \cdot 10^4$ в.о і розміром частинок $(6,3-63) \cdot 10^{-5}$ м;

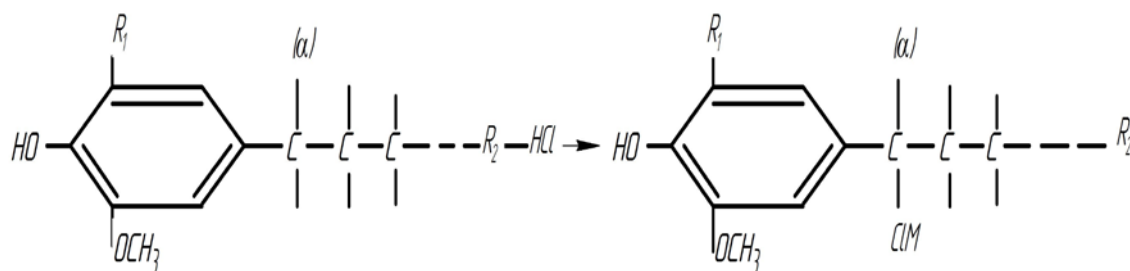
- наповнювач - деревний гідролізний лігнін (ДГЛ) Бобруйського гідролізного заводу (Білорусь) – відхід спиртового і дріжджового виробництва, який одержують у вигляді осаду хвойних і листяних порід деревини методом гідролізу (розбавленою сірчаною кислотою).

Деревний гідролізний лігнін – це «технічний» лігнін, який втратив частину своїх хімічних можливостей за рахунок конденсації низькомолекулярних речовин під час початкового гідролізу природного лігніну і зменшення кількості реакційноздатних фенольних і гідроксильних груп. В гідролізному лігніні ці групи знаходяться в орто – положенні ароматичного ядра (позиція 5) яке є незаконденсованим [27].



Утворені нові вуглець – вуглецеві C – C зв'язки між структурними мономерами будуть стійкішими до різних виникаючих впливів за прості ефірні, що зв'язували раніше структурні одиниці лігніну.

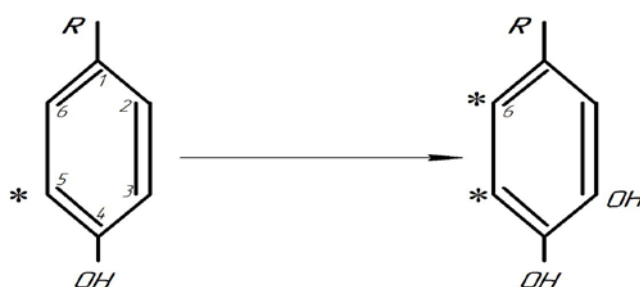
Однак в процесі гідролізу, поряд з реакціями конденсації, що перетворюють лігнін в інертний продукт, протікають конкуруючі реакції приєднання активних молекул з розчину кислоти, використуваної під час гідролізу. Має місце реакція заміщення гідроксильної спиртової групи молекулами хлору Cl.



де M – катіон;

R_1, R_2 – залишки макромолекули лігніну.

За рахунок наявності молекул хлору в гідролізованому лігніні утворюються активні пірокатехинові структури в орто – положенні ароматичного ядра (позиція 6) і карбоксильних груп (COOH). Значить, позиція 6 ароматичного ядра, що активується метаксильною групою, яка знаходиться саме тут у пара – положенні до нього, також є реакційноздатною.



* – реакційні позиції

Отже, деревний гідролізований лігнін є складним високомолекулярним полі- конденсатом з певним запасом хімічної активності в позиціях 5 і 6 ароматичного ядра, що і буде забезпечувати його взаємодію з органічним в'язучим – кам'яновугільним дьогтем - під час змішування.

Комплексне кам'яновугільне в'язуче готували суміщенням кам'яновугільних дьогтів з відходами виробництва полівінілхлориду при температурі 115-125°C впродовж 30 хвилин [25]. Потім додавали порошкоподібний деревний гідролізований лігнін і продовжували перемішувати ще 30 хвилин.

Для оптимізації системи «кам'яновугільний дьоготь – полівінілхлорид – деревний гідролізований лігнін» було використано композиційний несиметричний план [28] 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 – ПВХ - ДГЛ» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів X_1, X_2, X_3 (табл.1).

Таблиця 1 – Значення факторів варіювання.

| № з.п | Система | | Фізичний зміст фактора варіювання | | | |
|-------|-----------------|---------------------|--|---------------------------------|-------|-------|
| | | | Умовна в'язкість дьогтю за C_{30}^{10} , с | Масова концентрація полімеру, % | | |
| | | | | X_1 | X_2 | X_3 |
| 1 | Дьоготь-ПВХ-ДГЛ | Інтервал варіювання | 100 | 1 | 20 | |
| | | Рівні фактора | -1 | 50 | 0 | 0 |
| | | | 0 | 150 | 1 | 20 |
| | | +1 | 250 | 2 | 40 | |

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

Таблиця 2 – Параметри оптимізації системи.

| № з.п. | Код параметра оптимізації | Фізичний зміст параметра 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 дьогтеполівінілхлориду на стиск при 20°С, МПа | Не менше 2,5 |
| 5 | Y_5 | Границя міцності дьогтеполівінілхлориду на стиск при 50°С, МПа | Не менше 1,0 |
| 6 | Y_6 | Границя міцності дьогтеполівінілхлориду на стиск при 0°С, МПа | Не більше 12,0 |
| 7 | Y_7 | Коефіцієнт тривалої водостійкості | Не менше 0,8 |
| 8 | Y_8 | Відношення границі міцності зсуву в'язучого до напруження сталої течії | 1,1 – 1,4 |

За критерій оптимальності плану прийнято критерій D – оптимальності, який пов'язаний з мінімізацією об'єму еліпсоїду розсіювання оцінок параметрів рівнянь регресії [29]. З урахуванням критерію оптимальності було побудовано план експерименту (табл. 3).

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 |

Для створеного плану експерименту (табл. 3) за методом найменших квадратів обчислено коефіцієнти рівнянь регресії за виразом [30]

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

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.

Статистичний аналіз отриманих результатів включає перевірку двох статистичних гіпотез:

- про значущість отриманих коефіцієнтів моделі;

- про адекватність представлення результатів експерименту здобутим рівнянням регресії [30], [31].

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:

Система «кам'яновугільний дьоготь – ПВХ – ДГЛ»

$$Y_1 = 8,239 + 0,217 \cdot X_1 + 0,094 \cdot X_2 + 1,992 \cdot X_3 + 0,076 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,055 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,071 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,133 \cdot X_1^2 + 0,020 \cdot X_2^2 + 0,986 \cdot X_3^2;$$

$$Y_2 = 28,335 + 3,812 \cdot X_1 + 4,931 \cdot X_2 + 6,950 \cdot X_3 - 1,501 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,309 \cdot X_1 \cdot X_3 - 2,115 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,674 \cdot X_1^2 - 0,079 \cdot X_2^2 - 1,453 \cdot X_3^2;$$

$$Y_3 = 13,572 + 3,016 \cdot X_1 + 24,575 \cdot X_2 - 10,111 \cdot X_3 + 1,112 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,755 \cdot X_1 \cdot X_3 - 8,160 \cdot X_2 \cdot X_3 + 4,394 \cdot X_1^2 + 1,192 \cdot X_2^2 + 7,870 \cdot X_3^2;$$

$$Y_4 = 2,751 + 0,311 \cdot X_1 + 0,693 \cdot X_2 + 0,592 \cdot X_3 - 0,122 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,154 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,186 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,113 \cdot X_1^2 + 0,098 \cdot X_2^2 - 0,131 \cdot X_3^2;$$

$$Y_5 = 0,938 + 0,060 \cdot X_1 + 0,274 \cdot X_2 + 0,158 \cdot X_3 + 0,001 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,016 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,102 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,012 \cdot X_1^2 - 0,343 \cdot X_2^2 - 0,050 \cdot X_3^2;$$

$$Y_6 = 9,061 + 1,367 \cdot X_1 + 1,838 \cdot X_2 + 2,324 \cdot X_3 - 0,343 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,524 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,326 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,611 \cdot X_1^2 - 0,460 \cdot X_2^2 - 0,759 \cdot X_3^2;$$

$$Y_7 = 0,809 + 0,032 \cdot X_1 + 0,085 \cdot X_2 + 0,023 \cdot X_3 - 0,024 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,006 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,001 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,027 \cdot X_1^2 - 0,349 \cdot X_2^2 - 0,023 \cdot X_3^2;$$

$$Y_8 = 1,126 + 0,0 \cdot X_1 + 0,108 \cdot X_2 + 0,157 \cdot X_3 - 0,033 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,0 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,094 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,133 \cdot X_1^2 - 0,0 \cdot X_2^2 - 0,0 \cdot X_3^2.$$

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 дьогтеполівінілхлориду на стиск при 20°C, МПа (Y_4) (рис.4);
- границя міцності дьогтеполівінілхлориду на стиск при 50°C, МПа (Y_5) (рис.5);
- границя міцності дьогтеполівінілхлориду на стиск при 0°C, МПа (Y_6) (рис.6);
- коефіцієнт тривалої водостійкості (Y_7) (рис.7);
- відношення границі міцності зсуву в'язучого до напруження сталої течії (Y_8) (рис.8)

від:

- а) умовної в'язкості дьогтю за C_{30}^{10} (X_1);
- б) масової концентрації полівінілхлориду (X_2);
- в) масової концентрації деревного гідролізного лігніну (X_3).

Щоб виконувалась умова відповідності граничного значення функції відклику для Y_1 (оптимальний вміст в'язучого в суміші) величині не більше 8,5 %, концентрація полівінілхлориду (X_2) має бути $< 1,6$ % для умовної в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 50$ с (X_1), а для в'язкості $C_{30}^{10} = 250$ с (X_1) концентрація ПВХ (X_2) становить $< 0,4$ % (рис. 1,а). Концентрація деревного гідролізного лігніну (X_3) для всього діапазону в'язкостей дьогтю, що розглядається, повинна бути < 22 % (рис. 1, б, в).

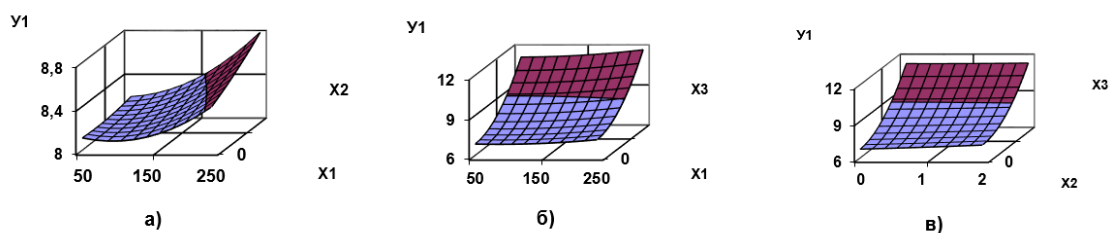


Рис. 1. Діаграма для оптимального вмісту в'язучого в суміші (в перерахунку на дьоготь), % (Y_1).

Для кам'яновугільного дьогтю з умовною в'язкістю $C_{30}^{10} = 50$ с (X_1) температура розм'якшення в'язучого (Y_2) при жодній з концентрацій ПВХ (X_2) не досягає свого граничного значення функції відклику (не менше 33°C) (рис.2, а). Для в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 150$ с (X_1) температура розм'якшення в'язучого (Y_2) перевищує 33°C за концентрації ПВХ (X_2) 2 % (рис.2, а), а для в'язкості $C_{30}^{10} = 250$ с (X_1) умова відповідності виконується при масовій концентрації ПВХ (X_2) $> 1,6$ % (рис.2, а). Понад 33°C Y_2 складає за таких умов:

- для в'язкості $C_{30}^{10} = 50$ с (X_1) при 1,6 % ПВХ (X_2) + 26 % ДГЛ (X_3) (рис. 2, б, в), або при 2 % ПВХ (X_2) + 20 % ДГЛ (X_3) (рис. 2, б, в);
- для в'язкості $C_{30}^{10} = 150$ с – 250 с (X_1) при 2 % ПВХ (X_2) + 20 % ДГЛ (X_3) (рис. 2, б, в)

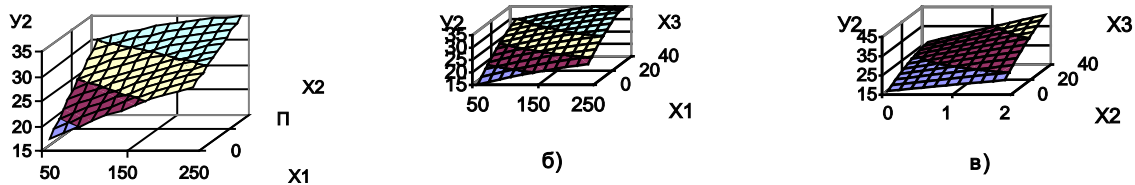


Рис. 2. Діаграма для температури розм'якшення в'язучого, $^\circ\text{C}$ (Y_2).

Еластичність в'язучого при 0°C (Y_3) перевищує граничне значення (не менше 30 %) для в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 50 - 150$ с (X_1) при $> 1,7$ % ПВХ (X_2), а для в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 250$ с (X_1) — при $> 1,4$ % ПВХ (X_2) (рис. 3, а). Майже 31 % в'язуче має еластичність для 1 % ПВХ (X_2) при 22 % ДГЛ (X_3), а для 2 % ПВХ (X_2) + 22 % ДГЛ $Y_3 = 31,2$ % (рис. 3, в).

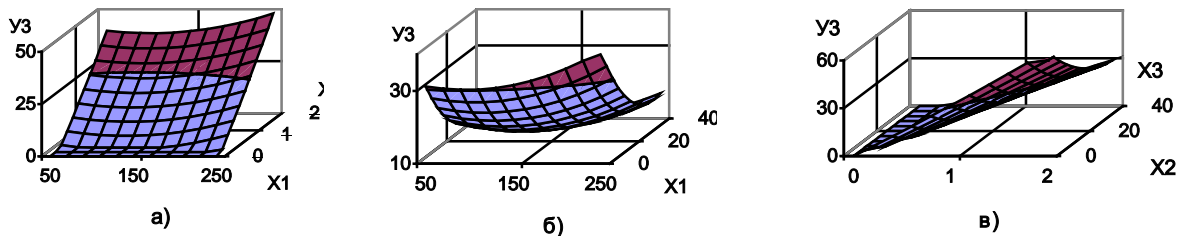


Рис. 3. Діаграма для еластичності в'язучого при 0°C , % (Y_3).

Границя міцності дьогтеполімербетону на стиск при 20°C (Y_4) не менше 2,5 МПа (граничне значення функції відклику) досягається при введенні 0,15 - 0,4 % ПВХ (X_2) в кам'яновугільні дьогті в'язкості $C_{30}^{10} = 250 - 50$ с (X_1) (рис. 4, а). З активним дисперсним наповнювачем необхідні значення Y_4 має: при 0,2 % ПВХ (X_2) — з 36 % ДГЛ (X_3); при 1% ПВХ — з 12 % ДГЛ (X_3). $Y_4 = 2,63$ МПа при 2% ПВХ (X_2) без наповнення деревним гідролізним лігніном ($X_3=0$) (рис.4, в).

Поверхня функції відклику Y_5 (границя міцності дьогтеполімербетону на стиск при 50°C) в залежності від умовної в'язкості дьогтю (X_1) та концентрації полівінілхлориду (X_2) проходить через екстремум (рис.5, а): для в'язкості $C_{30}^{10} = 50$ с (X_1) він спостерігається при 1,4 % ПВХ (X_2) і дорівнює 0,93 МПа (Y_5); при $C_{30}^{10} = 170 - 250$ с (X_1) тільки при 1,4 % ПВХ (X_2) досягаються екстремальні значення 1,0 – 1,02 МПа (Y_5). З деревним гідролізним лігніном Y_5

відповідає граничному значенню (не менше 1 МПа) при концентраціях 1 – 2 % ПВХ (X_2) і 22 – 26 % ДГЛ (X_3) (рис. 5, в).

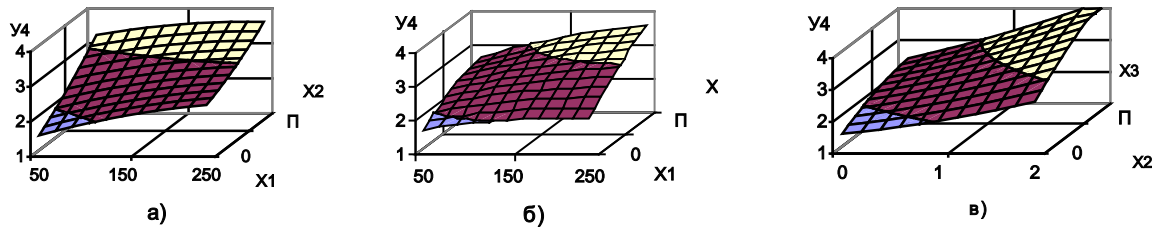


Рис. 4. Діаграма для границі міцності дьогтеполівінілхлориду на стиск при 20⁰С, МПа (Y_4).

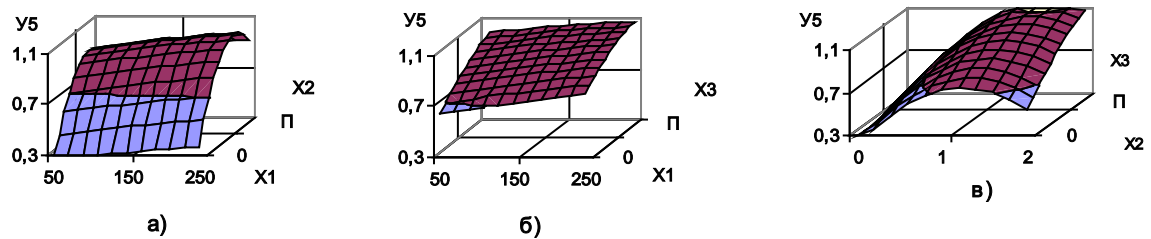


Рис. 5. Діаграма для границі міцності дьогтеполівінілхлориду на стиск при 50⁰С, МПа (Y_5).

Границя міцності дьогтеполімербетону на стиск при 0⁰С (Y_6) перевищує граничне значення (не більше 12 МПа) лише при 1,8 % ПВХ (X_2) з 40 % ДГЛ (X_3) та при 2 % ПВХ (X_2) з 34 – 40 % ДГЛ (X_3) при будь – яких значеннях умовної в'язкості кам'яновугільного дьогтю (X_1) (діапазон варіювання: від $C_{30}^{10} = 50$ с до $C_{30}^{10} = 250$ с) (рис.6).

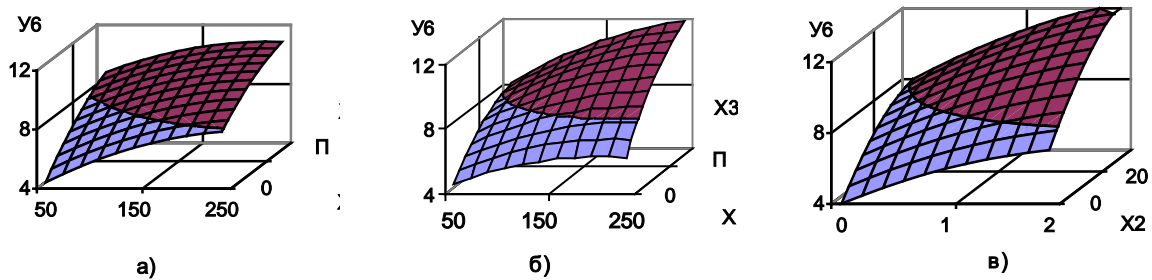


Рис. 6. Діаграма для границі міцності дьогтеполівінілхлориду на стиск при 0⁰С, МПа (Y_6).

Коефіцієнт тривалої водостійкості (Y_7) відповідає граничному значенні функції відклику (не менше 0,8) для умовної в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 130 - 250$ с (X_1) при 1,0 - 1,2 % ПВХ (X_2) (рис.7, а). З активним дисперсним наповнювачем зазначена умова виконується лише при 0,5 % + 22 - 36 % ДГЛ (X_3) (рис. 7,в).

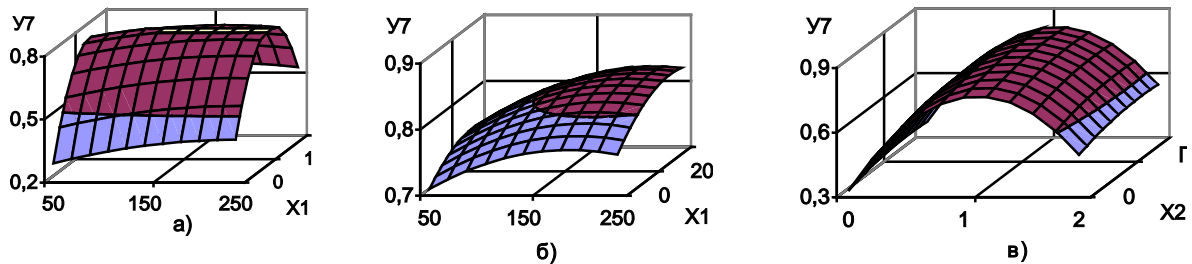


Рис. 7. Діаграма для коефіцієнта тривалої водостійкості дьогтеполімербетону (Y_7).

Екстремум поверхні функції відклику для відношення границі міцності зсуву в'язучого до напруження сталої течії (Y_8) спостерігається при умовній в'язкості дьогтю $C_{30}^{10} = 150$ с (X_1) при будь-яких концентраціях ПВХ (X_2) (рис. 8, а), а умова щодо граничного значення Y_8 (1,1 – 1,4) виконується при 1,8 – 2,0 % ПВХ (X_2) для всього діапазону в'язкості від $C_{30}^{10} = 50$ с до $C_{30}^{10} = 250$ с (X_1) (рис. 8, а). З урахуванням деревного гідролізного лігніну поверхня проходить екстремум при 1% ПВХ (X_2) при всіх значеннях ДГЛ (X_3), а $Y_8 = 1,1 – 1,4$ при 0 – 2 % ПВХ (X_2) + 28 – 40 % ДГЛ (X_3) (рис. 8, в).

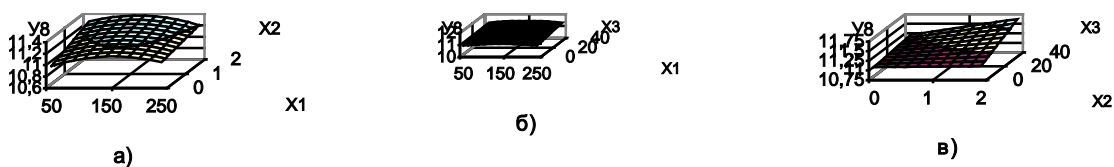


Рис. 8. Діаграма для відношення границі міцності зсуву в'язучого до напруження сталої течії (Y_8).

Отже, враховуючи граничні значення функцій відклику всіх параметрів оптимізації ($Y_1 - Y_8$), можна зазначити, що оптимальною системою «кам'яновугільний дьоготь – полівінілхлорид – деревний гідролізний лігнін» буде при умовній в'язкості дьогтю (X_1) $C_{30}^{10} = 170 - 250$ с, масовій концентрації полівінілхлориду (X_2) 1,4–1,6 % ПВХ та масовій концентрації деревного гідролізного лігніну (X_3) 22 – 26 % ДГЛ.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Вперше проведено математичне й комп'ютерне дослідження і оптимізацію системи «кам'яновугільний дьоготь – полівінілхлорид – деревний гідролізний лігнін». 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 полівінілхлориду в кам'яновугільних дьогтях є 1,4–1,6 % ПВХ, а деревного гідролізного лігніну – 22 – 26 % ДГЛ. В'язкість вихідного кам'яновугільного дьогтю становить $C_{30}^{10} = 170 - 250$ с.

Проведення оптимізації дозволяє одержати якісне комплексне кам'яновугільне 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 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 дьогтебетонів (леткі фракції кам'яновугільного дьогтю будуть частково поглинатися введеними полімером та активним дисперсним наповнювачем).

Подальші дослідження будуть присвячені вивченню структуроутворення в комплексних кам'яновугільних в'язучих, які модифіковані первинними відходами виробництва полівінілхлориду та деревним гідролізним лігніном - відходом спиртового і дріжджового виробництва, а також визначенню фізико-механічних і деформаційно-міцнісних властивостей бетонів на пропонуваному комплексному кам'яновугільному в'язучому, мінеральної частиною яких є горілі породи шахтних териконів.

Библиографический список

1. 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.
2. Дегти каменноугольные для дорожного строительства: ГОСТ 4641 - 80. – М., 1980. – 8 с.
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. Куделко М.Я. Исследование трещиностойкости песчаных асфальтобетонных покрытий при низких температурах в условиях БССР: автореф. дис. на соискание научной степ. канд. техн. наук / М.Я. Куделко. – Минск, 1975. – 28 с.
5. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов н/Дону: «Феникс», 2007. – 368 с.
6. Панов Б.С. Новые виды минерального сырья Донбасса / Б.С. Панов, Ю.А. Проскурня // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Гірничо-геологічна». – 2004. – Вип. 81. – С. 74-77.
7. Дубровский Е.М. Организация породного хозяйства угольных шахт / Е.М. Дубровский. – М.: «Недра», 1979. – 112 с.
8. Рациональное природоиспользование в горной промышленности / под общ. ред. проф. В.А. Харченко. – М.: Изд – во МГУ, 200. – 442 с.
9. Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса: моногр. / Л.Г. Зубова, А.Р. Зубов, К.И. Верех и др. – Луганск: изд – во ВУЗ им. В.Даля, 2012. – 144 с.
10. Использование отходов, попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. Охрана окружающей среды. Обзорная информация. Вып. 2. «Использование зол, шлаков ТЭС и отходов угледобычи и углепереработки в производстве строительных материалов» / Ю.Л. Спирин, Ю.А. Алехин, С.В. Глушнев, Р.Ковач. – М.: ВНИИЭСМ, 1984. – 43 с.
11. Некоторые вопросы рационального природоиспользования и ресурсосбережения в угольной отрасли Донбасса / М.А. Писковой, С.А. Пелипенко, А.М. Назаренко, И.С. Русев // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: збірник доповідей I міжнародної конференції аспірантів. – Донецьк: ДонНТУ, 2002. – Т. 1. – С. 233-236.
12. Мешман А.Н. Повышение вязкости каменноугольного дегтя / А.Н. Мешман // Автомобильные дороги. – 1984. – № 3. – С.17.
13. Колчанов А.Г. Применение полимеров при поверхностной обработке / А.Г. Колчанов // Автомобильные дороги. – 1971. – № 11. – С. 21-22.
14. Братчун В.И. О процессах структурообразования в системе деготь – поливинилхлорид / В.И. Братчун, В.А. Золотарев, Н.Ф. Почапский // Известия вузов. Сер. «Строительство и архитектура». – 1981. – № 7. – С. 64-67.
15. 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.
16. 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». – Х.: ХАДИ, 1983. – С. 91-92.
17. Повзун О.І. Про технологічні режими виготовлення дьогтеполімерних в'язучих на основі полістирольного пилу / О.І. Повзун // Республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». – К.: «Будівельник», 1984. – Вип. 34. – С. 54-57.
18. Думанский А.М. Модификация каменноугольных дегтей добавками отходов производства стирола / А.М. Думанский, В.П. Володько, Т.В. Полищук // Автодорожник Украины. – 1987. – № 4 – С. 27-28.
19. 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. – Х., 2006. – 18 с.
20. Каменноугольные дегти, модифицированные отходами производства фенилэтилена и его полимеров / В.П. Володько, А.М. Думанский, В.В. Комаров, А.Г. Доля // Автомобильные дороги. – 1985. – № 6. – С. 3-5.
21. 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.
22. 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». – Х.: ХАДИ, 1989. – С. 83-84.

23. Братчун В.И. Направленное регулирование качества каменноугольных вяжущих введением комплексных добавок (полимер + активный дисперсный наполнитель) / В.И. Братчун, Н.Ф. Почапский, А.И. Повзун // Материалы международной научно – технической конференции «Повышения качества строительства и эксплуатации автомобильных дорог в нечерноземной зоне РСФСР». – Владимир, 1982. – С. 43-45.
24. Братчун В.И. Модификация каменноугольных дорожных дегтей комплексными добавками / В.И. Братчун, А.И. Повзун, В.А. Золотарев // Известия вузов. Сер. «Строительство и архитектура». – Новосибирск, 1985. – № 3. – С.72-76.
25. Братчун В.И. Упрочнение маловязких дегтеполимерных вяжущих древесным гидролизным лигнином / В.И. Братчун, А.И. Повзун, В.А. Золотарев, С.В.Якименко // Известия вузов. Сер. «Строительство и архитектура». – Новосибирск, 1987. – № 3. – С. 60-63.
26. Определение составов и технологических режимов приготовления дегтеполимерных вяжущих / И.М. Грушко, В.А. Золотарев, Б.А. Лишанский, В.И. Братчун // Известия вузов. Сер. «Строительство и архитектура». – Новосибирск, 1982. – № 6. – С. 67-70.
27. Химерик Т.Ю. Исследование свойств асфальтового бетона с использованием гидролизного лигнина: автореф. дис. на соискание научной степ. канд. техн. наук // Т.Ю. Химерик. - Харьков, 1982. – 25 с.
28. Бродский В.Э. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / В.Э Бродский. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.
29. Голикова Т.И. Свойства Д-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.
31. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 30 с.

Надійшла до редакції 19.12.2014

А.И. Повзун, С.А. Вирич, С.В. Кононыхин, Т.В. Горячева

Донецкий национальный технический университет
Красноармейский индустриальный институт

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА КОМПЛЕКСНОГО КАМЕННОУГОЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГОРЕЛЫХ ПОРОД ШАХТНЫХ ТЕРРИКОНОВ В ОСНОВАНИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В статье проведено математическое и компьютерное исследование и оптимизацию системы «каменноугольный дьоготь – полимер (первичные отходы производства поливинилхлорида) – активный дисперсный наполнитель (древесный гидролизный лигнин – отход спиртового и дрожжевого производства). Рассчитаны и построены трехмерные диаграммы параметр оптимизации системы – факторы врьирования. С помощью методов математического планирования эксперимента определены оптимальные концентрационные соотношения между компонентами, составляющими систему.

Ключевые слова: модель математическая, факторы варьирования, параметры оптимизации, функция отклика, вяжущее каменноугольное, породы горелые, терриконы шахтные.

O.I. Povzun, S.O. Virych, S.V. Kononykhin, T.V. Goryacheva

Donetsk National Technical University
Krasnoarmiysk Industrial Institute

OPTIMIZATION OF A COMPLEX COALTAR ASPHALT VISCOUS MATERIAL FOR BURNED METAMORPHIC ROCKS OF MINE WASTE HEAPS HARDENING TO BE USED AS A BASE MATERIAL OF MOTORWAYS

The article gives a mathematical and computing research and optimization of «coal tar – polymer» system where the coal tar is primary waste of the polyvinichloride production and the polymer is an active particulate filler (wooden hydrolitic ligin is waste of the alcohol and yeast production). Three-dimentional diagrams of the parameter system optimization (variation factors) were calculated and constructed. Optimal concentration relations of the components that make up the system were estimated by means of mathematical methods of the experimental design.

Key words: computing model, variation factors, optimization parameters, response function, tar asphalt viscous material, combustion metamorphic rocks, mine waste heaps.