

## **АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ ТА СПОРУДИ**

УДК 665.775:665.772

**Гончаренко В.В., к.т.н., Ромасюк Є.О., Дрожжин Д.М., Логвинюк Н.С.**

**Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка**

### **ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ БІТУМІВ, ЩО МОДИФІКОВАНІ ВТОРИННИМ ПОЛІЕТИЛЕНОМ ВИСОКОГО ТИСКУ**

На основі теоретичних та експериментальних досліджень була доведена можливість поліпшення якості нафтових дорожніх бітумів шляхом введення гранул вторинного поліетилену високого тиску. З використанням методів експериментально-статистичного моделювання було встановлено оптимальні концентраційні співвідношення компонентів у полімер-модифікованому в'язучому.

#### ***Постановка проблеми***

Строки служби вітчизняного асфальтобетону більш ніж у 1,5 рази нижче можливих в порівнянні з країнами Європи. У зв'язку зі зростаючими вимогами до дорожнього покриття, що зумовлені зростанням швидкості руху на дорогах та збільшенням навантаження на вісь автомобіля, актуальною задачею є вишукування нових дорожньо-будівельних матеріалів з підвищеними розрахунковими характеристиками. У зв'язку з тим, що взаємозв'язок між складовими компонентами асфальтобетону здійснюється через прошарки вільного або структурованого бітуму, якість застосованого органічного в'язучого є вирішальним фактором у довговічності асфальтобетону [1, 2]. Проте недостатньо висока якість нафтових бітумів, що отримані традиційним способом, зумовлює необхідність вишукування нових складів органічних в'язучих з підвищеними фізико-механічними властивостями.

На сьогоднішній день встановлено, що найбільш ефективним способом підвищення властивостей бітумів є їх модифікація полімерними добавками, такими як: термопласти, термоеластоласти, терполімери, каучуки, олігомери та ін. [2-5]. Однак, існуючі добавки є відносно дорогими. Тому актуальним стає питання застосування в якості модифікаторів більш дешевих матеріалів, які б не знижували якість модифікованого органічного в'язучого. Одним з таких є гранульований вторинний поліетилен високого тиску (ВПЕВТ), що отриманий шляхом переробки відходів поліетиленової продукції, вартість якого складає всього 8–9 грн/кг [6]. Однак, досягнення максимального ефекту від модифікації бітуму ВПЕВТ можливо лише при оптимальному співвідношенні концентрації ВПЕВТ в бітумі та його в'язкості.

#### ***Мета роботи***

Встановлення оптимального концентраційного співвідношення ВПЕВТ у бітумах різної в'язкості з використанням методів експериментального статистичного моделювання.

#### ***Аналіз використаних джерел***

При використанні в якості модифікаторів органічних в'язучих матеріалів-полімерів, передбачається, що такі цінні якості, як міцність, теплостійкість, пластичність, здібність до пружних і високоеластичних деформацій при низьких температурах в певній мірі передадуться в'язучому матеріалу [2–4].

Приготування бітумів, модифікованих полімерами (БМП) [2–5], передбачає інтенсивне перемішування компонентів і підвищену температуру процесу приготування (150–200 °С).

Процес змішування при високій температурі бітуму з полімерами будь-якої хімічної природи протікає в дві стадії – емульгування розм'якшеного полімеру в рідкому бітумі й подальше часткове (набухання) або повне його розчинення [2,3].

Отримання БМП із заданим комплексом властивостей можливо лише при оптимальному співвідношенні в'язкості вихідного бітуму та достатньої концентрації в ньому полімеру. При цьому в бітумі повинна сформуватися структура у вигляді зв'язної полімер-асфальтенової сітки. Така система, відповідно [2], буде відноситися саме до бітумополімерного типу в'язучого, яке відрізняється від бітуму наявністю високої еластичності, зниженої пенетрації та підвищеною температурою розм'якшення. У той же час, у зв'язку з невеликою кількістю полімеру, дисперсійним середовищем залишається мальтенова складова бітуму (смоли та масла), яка визначає температуру переходу в'язучого у пружньо-крихкий стан. Тобто температура крихкості БМП не повинна змінюватися у бік більш високих температур [3].

### Основна частина

Для отримання модифікованих бітумів з підвищеними фізико-механічними властивостями в якості модифікатора використовували гранули вторинного поліетилену високого тиску – продукту переробки відходів поліетиленової продукції Донецького підприємства ВАТ «ДПА» [7]. Фізико-хімічні показники ВПЕВТ, що використовувався для отримання БМП, наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні показники ВПЕВТ

Вид поліетилену	Щільність, $г/см^3$	Температура плавлення, $^{\circ}C$	Модуль пружності, МПа	Межа текучості при розтягненні, МПа	Відносне подовження, %
ВПЕВТ	0,913–0,914	102–105	100–200	7–17	100–800

Вторинний поліетилен високого тиску являє собою подрібнену гранулу діаметром 3–5 мм сірого кольору. Гранула виготовлена на дисковому грануляторі зі стренговим різанням з виробничих відходів.

У якості в'язучого матеріалу прийнято нафтові дорожні бітуми Кременчужського НПЗ марок БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200 у відповідності із [5,8]. Основні показники якості бітумів наведено в таблиці 2.

Таблиця 2– Показники якості прийнятих нафтових дорожніх бітумів

Найменування показника	Одиниці виміру	Пенетрація при температурі 25 $^{\circ}C$ , 0,1 мм		
		62	99	136
Температура розм'якшення за «КіК»	$^{\circ}C$	48	45	42
Розтяжність при 25 $^{\circ}C$	см	63	71	88
Температура крихкості	$^{\circ}C$	-16	-19	-23
Еластичність при 25 $^{\circ}C$	%	28	26	24
Індекс пенетрації	-	-1,22	-1,08	-0,82

Модифіковане органічне в'язуче одержували шляхом сполучення ВПЕВТ з нафтовим

дорожнім бітумом у лабораторній мішалці. ВПЕВТ рівномірно вводили в судину з бітумом при температурі 160–170 °С. Судину розташовували у ємність з олією, нагріту до температури 170 °С, та вмикали лопатеву мішалку-двигун. Число обертів двигуна складало 1250 об/хв.

Модифіковане в'язуче виготовлялося згідно вимог [6,9] протягом 1,5 години при постійній температурі 170–175 °С. Отримане таким шляхом в'язуче було однорідним за всім об'ємом.

Після модифікації органічного в'язучого вторинним поліетиленом вивчався вплив масової концентрації ВПЕВТ на його стандартні показники якості.

На рисунку 1 наведено залежність penetрації бітумів різних марок при температурі 25 °С від концентрації ВПЕВТ в ньому. При введенні в бітум поліетилену до 4 % спостерігається зменшення penetрації бітумів у 1,7–2,7 рази. Таке збільшення в'язкості бітуму свідчить про високу структуруючу дію поліетилену, що дозволяє перевести його у більш в'язку марку бітуму, модифікованого полімером. Це узгоджується з тенденцією, встановленою для БМП [10] та пояснюється кращими умовами розчинення полімерів в бітумах з більшим вмістом масел.

Температура розм'якшення модифікованого органічного в'язучого підвищується зі збільшенням кількості полімеру та зростає при 4 % ВПЕВТ на 10 °С (рисунк 2). Це свідчить про зміщення температури переходу БМП у в'язкопластичний стан в область більш високих позитивних температур і, як наслідок, зменшення температурної чутливості при високих позитивних температурах.

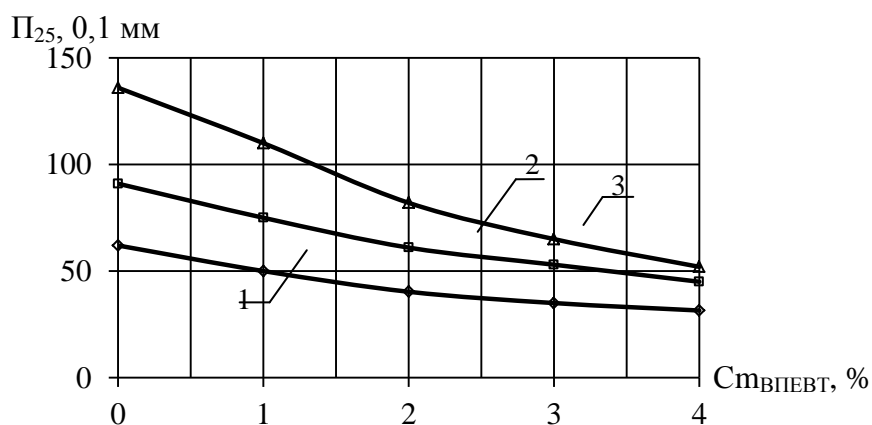


Рисунок 1 – Залежність penetрації при 25 °С БМП в залежності від концентрації ВПЕВТ та початкової penetрації: 1 – 62×0,1 мм; 2 – 91×0,1 мм; 3 – 136×0,1 мм

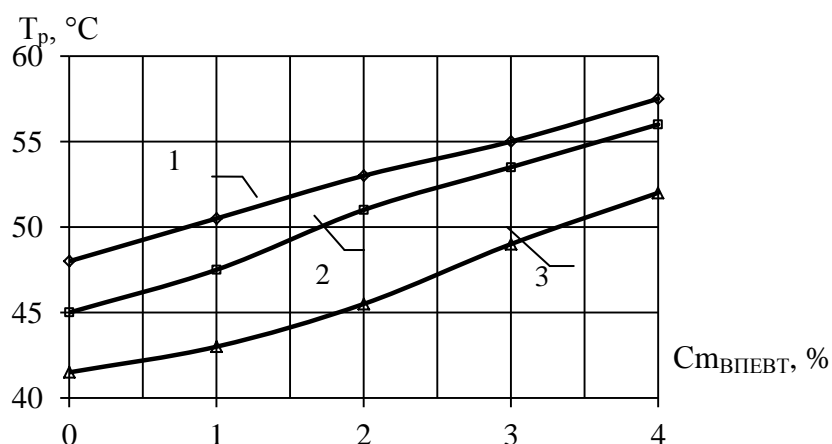


Рисунок 2 – Залежність температури розм'якшення БМП в залежності від концентрації ВПЕВТ та початкової penetрації: 1 – 62×0,1 мм; 2 – 91×0,1 мм; 3 – 136×0,1 мм

Введення ВПЕВТ у кількості до 4 % призводить до поступового зменшення величини

розтяжності органічного в'язучого при температурі 25 °С (рисунок 3). Цей факт є негативною ознакою впливу вторинного поліетилену на якість бітуму, тому що зниження цього показника свідчить про зменшення когезійної міцності в'язучого [2]. Причина такої залежності розтяжності БМП від кількості поліетилену може бути пов'язана з тим, що поліетилен володіє значно меншою пластичністю, особливо при невисоких температурах, що і відображається на зниженні даного показника.

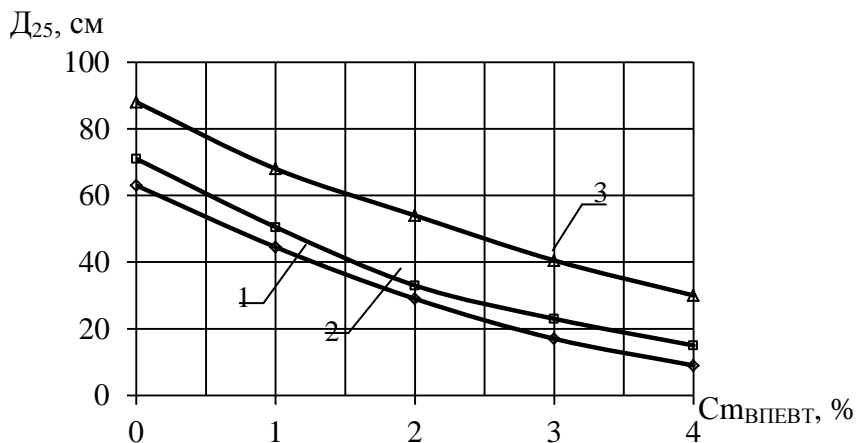


Рисунок 3 – Розтяжність БМП при температурі 25 °С в залежності від концентрації ПЕВТ та початкової пенетрації: 1 – 62×0,1 мм; 2 – 91×0,1 мм; 3 – 136×0,1 мм

У той же час позитивним явищем є збільшення еластичності БМП при введенні ВПЕВТ у бітум, однак при концентрації поліетилену більше 4 % приріст еластичності в'язучого уповільнюється, а у більш в'язких системах взагалі поступово падає (рисунок 4). Це пов'язано з тим, що система «бітум – ВПЕВТ» перенасичується полімером і кількості масел в бітумі вже стає недостатнім для розчинення й переведення поліетилену у лінійні конформації, що забезпечують підвищення еластичності всієї системи в цілому.

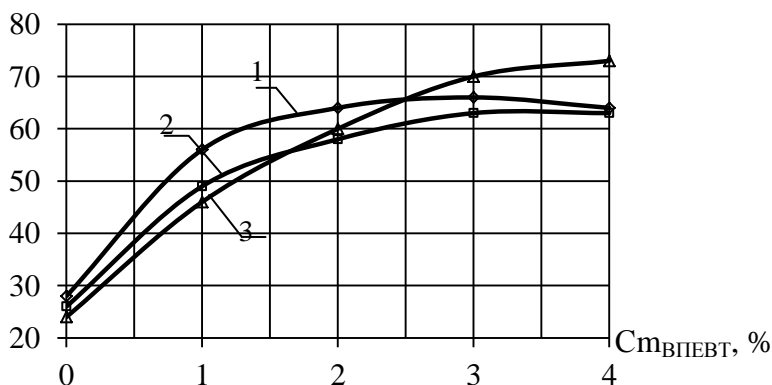


Рисунок 4 – Залежність еластичності БМП при температурі 25 °С від концентрації та початкової пенетрації: 1 – 62×0,1 мм; 2 – 91×0,1 мм; 3 – 136×0,1 мм

Температура крижкості бітуму при вмісті в ньому поліетилену до 2 % залишається практично незмінною для всіх досліджуваних типів в'язучого. Подальше збільшення кількості поліетилену до 4 % призводить до зниження цього показника на 7–8 °С (рисунок 5). У зв'язку з цим можна передбачити, що оптимальна кількість поліетилену у БМП повинна бути в межах 2–3 % залежно від в'язкості вихідного в'язучого.

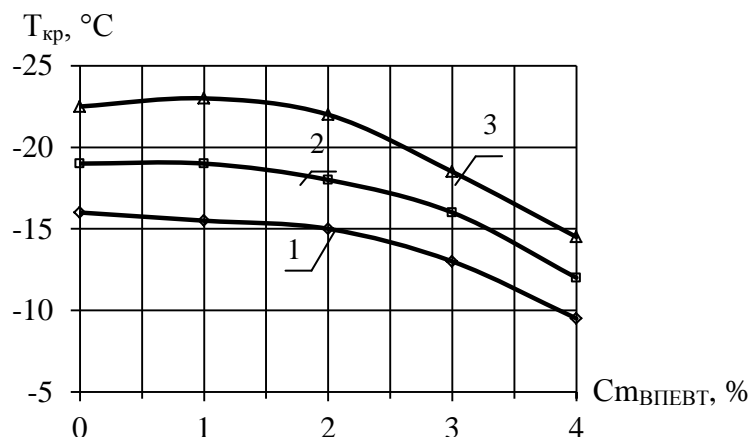


Рисунок 5 – Залежність температури крихкості БМП від концентрації ПЕВТ та початкової пенетрації: 1 – 62×0,1 мм; 2 – 91×0,1 мм; 3 – 136×0,1 мм

У зв'язку з тим, що сукупність чинників: пенетрація при 25 °C і масова концентрація ВПЕВТ, що впливають на БМП є такими, що визначають показники якості в'язучого, то для оптимізації його складу було застосовано метод експериментально-статистичного моделювання [11]. Прийнято 9-ти точковий двофакторний план на трьох цілочисельних рівнях (-1; 0; +1). План експерименту несиметричний і зміщений до зони максимальних значень варійованих чинників [12].

Побудову математичних моделей здійснена ПЕВМ в середовищі MathCAD 14.0 for Windows, за допомогою якого проведено регресійний аналіз, побудову поверхонь функцій відгуку й знаходження області оптимальних значень чинників.

У таблицях 3 та 4 наведено значення чинників варіювання, параметри оптимізації складу бітумів, модифікованих ВПЕВТ, і граничні значення функцій відгуку.

Таблиця 3 – Значення чинників варіювання, що діють на систему «бітум – ВПЕВТ»

№ з/п	Код фактора	Фізичний сенс фактора	Од. вим.	Інтервал варіювання	Рівні фактора		
					-1	0	+1
1	X <sub>1</sub>	Пенетрація, П <sub>25</sub>	0,1 мм	37	62	99	136
2	X <sub>2</sub>	Масова концентрація ВПЕВТ у бітумі, С <sub>мВПЕВТ</sub>	%	1,5	2	3,5	5

Таблиця 4 – Параметри оптимізації складу БМП і їх граничні значення

№ з/п	Код параметра	Фізичний сенс параметра оптимізації	Од. вим.	Граничні значення функції відгуку
1	Y <sub>1</sub>	Температура розм'якшення за«КіК», T <sub>p</sub>	°C	45
2	Y <sub>2</sub>	Температура крихкості, T <sub>кр</sub>	°C	-15
3	Y <sub>3</sub>	Еластичність при 25 °C, E <sub>25</sub>	%	65

Модель зі всіма значущими оцінками коефіцієнтів регресії перевірялася на адекватність за критерієм Фішера (F)[12]. Якщо  $F_a < F_{кр}$  ( $a, f_{на}, f_3$ ), то адекватність моделі обґрунтована. Розрахункові значення критерію Фішера: для першого рівняння – 1,26, для другого – 1,38, для третього – 1,50. Усі значення критерію Фішера менше ніж табличні, що підтверджує адекватність математичних моделей.

Матрицю планування та результати експерименту наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 – Матриця планування та результати експерименту

№ з/п	У кодованих значеннях		У натуральних значеннях		Середні значення експериментальних даних		
	$X_1$	$X_2$	$X_1$ , $P_{25}, 0,1$ мм	$X_2$ , ВПЕВТ, $C_{mВПЕВТ}, \%$	$Y_1$ , $T_p, ^\circ C$	$Y_2$ , $T_{кр}, ^\circ C$	$Y_3$ , $E_{25}, \%$
1	0	0	99	3,5	55,5	- 12	62,13
2	+	+	136	5	54	- 12	67,75
3	-	-	62	2	52,63	- 14,38	63,13
4	0	+	99	5	58,38	- 10,38	61,0
5	0	-	99	2	51,13	- 17,75	58,75
6	+	0	136	3,5	51,13	- 13,5	69,75
7	-	0	62	3,5	56,75	- 10,88	63,75
8	+	-	136	2	45,38	- 21,38	61,0
9	-	+	62	5	60,25	- 5,75	61,25

На рисунку 6 наведено графічне відображення результатів експериментально-статистичного моделювання та область оптимальних концентраційних значень модифікованого в'язучого.

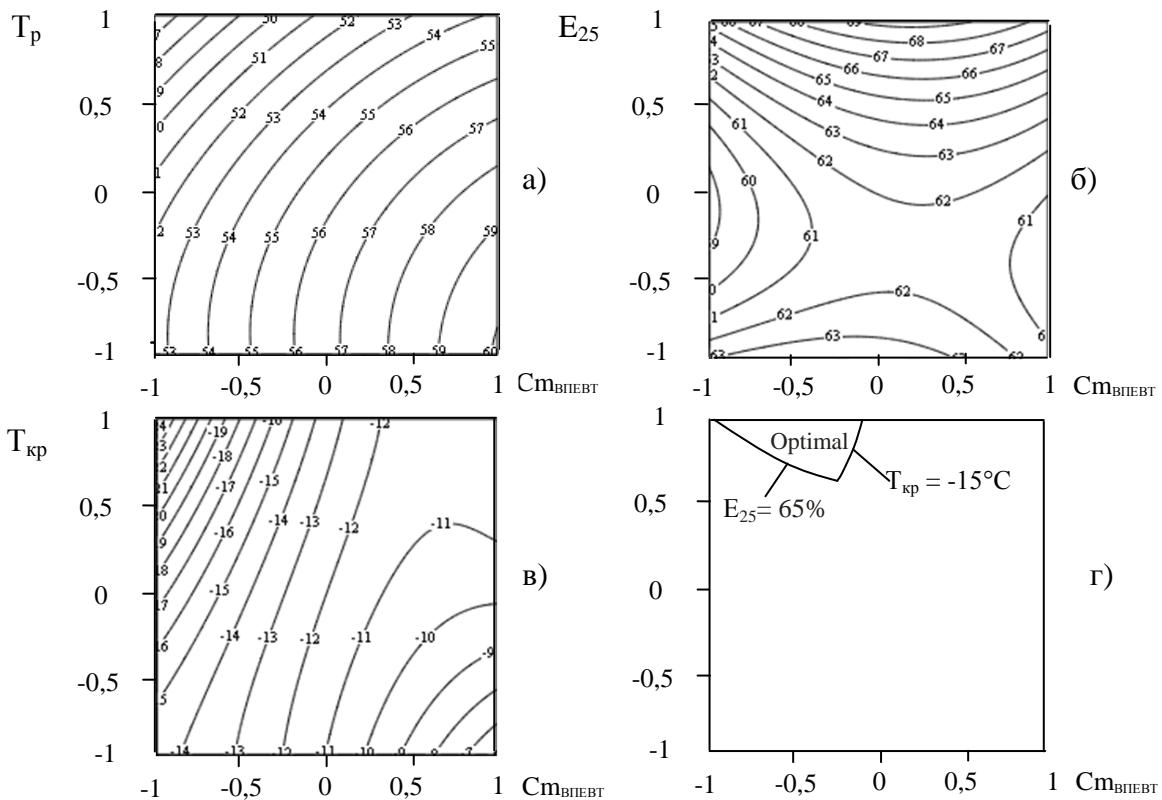


Рисунок 6 – Области оптимальних значень складу в'язучого в залежності від його в'язкості та концентрації ВПЕВТ  
а) температура розм'якшення; б) еластичність при 25°C; в) температура крихкості; г) область оптимального складу в'язучого

Таким чином встановлено, що оптимальна кількість ВПЕВТ знаходиться в межах від 2 до 3,2 %, а оптимальне значення penetрації бітуму знаходиться в межах від  $116 \times 0,1$  мм до  $136 \times 0,1$  мм, що відповідає маркам БНД 90/130 та БНД 130/200.

Слід зазначити, що подальше збільшення концентрації ВПЕВТ не рекомендується, тому що це призводить до різкого структурування в'язучого та зниження еластичності модифікованого органічного в'язучого.

### **Висновки**

Виконані експериментальні дослідження підтвердили можливість використання поліетилену високого тиску у якості модифікатора нафтового дорожнього бітуму. Введення поліетилену у кількості до 4 % дозволяє перевести БМП у більш в'язку марку бітуму з підвищенням температури розм'якшення та еластичності. З використанням методу експериментально-статистичного моделювання встановлено область оптимального складу модифікованого органічного в'язучого матеріалу. Основними параметрами оптимізації, що визначають область оптимальних значень, є температура розм'якшення, еластичність при 25 °С та температура крихкості. Оптимальні значення концентрації ВПЕВТ знаходяться в межах від 2 до 3,2 % при penetрації бітуму від  $116 \times 0,1$  мм до  $136 \times 0,1$  мм. Збільшення вмісту ВПЕВТ більше 3,2 % не рекомендується, оскільки це приведе до різкої структуризації в'язучого, втрати еластичності та зниження температури крихкості.

### **Список літератури:**

1. Ладыгин Б.И. Прочность и долговечность асфальтобетона / Б.И. Ладыгин, И.К. Яцевич. – Минск: Наука и техника, 1972. – 288 с.
2. Золотарев В.А. Битумы, модифицированные полимерами и асфальтополимербетоны / В.А. Золотарев // Дорожная техника. – Х., 2009. – С.16–23.
3. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства / [Л.М. Гохман, Е.М. Гурарий, А.Р. Давыдова, К.И. Давыдова]. – М.: Информавтодор, 2002. – 113 с.
4. Братчун В.И. Повышение долговечности бетонов на органических вяжущих регулированием свойств микро-структуры / В.И.Братчун // Вестник Харьковского автомобильно-дорожного технического университета. – Х., 2000. – № 12–13. – С. 141–144.
5. Гохман Л.М. Исследования деформационной устойчивости асфальтобетона с применением ПБВ (на основе ДСТ) в статическом и динамическом режимах деформирования / Л.М. Гохман, В.А.Золотарев, Л.Б. Гезенцевей // Труды СоюздорНИИ. – М., 1977. – № 89 – С. 112–134.
6. Гончаренко В.В. Покращення властивостей нафтових дорожніх бітумів шляхом їх модифікації вторинним поліетиленом високого тиску / В.В.Гончаренко, Є.О.Ромасюк // Вісник ДонНАБА. – Макіївка, 2011. – № 1(87). – С. 11–16.
7. Воробьев В.А. Технология полимеров / В.А. Воробьев, Р.А. Адрианов. – М.: Высшая школа, 1980. – 303 с.
8. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови: ДСТУ 4044-2001.– [Чинний від 2001-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2001. – 14 с. – (Національний стандарт України).
9. Приготування, зберігання та застосування бітумів, модифікованих полімерами: ВБН В 2.7-218-185-2004.– [Чинний від 2004-01-01]. – К.: Укравтодор, 2004.
10. Золотарев В.А. Технические свойства вязких дорожных битумов с добавками парафиновых восков / В.А. Золотарев, Я.И. Пыриг, А.В. Галкин // Вісник ДонНАБА. – Макіївка, 2009. – № 1(75). – С.10–19.
11. Гончаренко В.В. Многокомпонентное каменноугольное вяжущее с широким интервалом пластичности: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / В.В.Гончаренко. – Макеевка, 2001. – 124 с.
12. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.

Рецензент: к.т.н., доц. Т.И. Скрипнік, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 21.10.11

©Гончаренко В.В., Ромасюк Є.О., Дрожжин Д.М., Логвинюк Н.С. 2011