

В.М. ГУНЬКА, М.М. БРАТИЧАК, Ю.М. ГРИНЧУК, Ю.В. ПРИСЯЖНИЙ, Ю.В. СІДУН, Ю.Я ДЕМЧУК

ХІМІЧНЕ МОДИФІКУВАННЯ ДОРОЖНІХ НАФТОВИХ БІТУМІВ МАЛЕЇНОВИМ АНГІДРИДОМ І ПОЛІЕТИЛЕНГЛІКОЛЯМИ

При виробництві і застосуванні дорожніх бітумів виникає ряд проблем. Одна з них – це незадовільні експлуатаційні характеристики, в основному теплостійкість, еластичність та адгезія між в'язучим та заповнювачем. При збільшенні інтенсивності дорожнього руху, зростанні обсягів великовантажних перевезень, маси автомобілів, разом із впливом на конструкцію погодно-кліматичних факторів це призводить до руйнування дорожнього покриття. У роботі описано результати з вивчення процесу хімічного модифікування дорожніх нафтових бітумів малеїновим ангідридом і поліетиленгліколями (ПЕГ) з одержанням бітум-полімерних сумішей, які окрім хорошої теплостійкості також володіють високою еластичністю. При модифікуванні дорожнього бітуму малеїновим ангідридом, останній виступає певною звужуючою ланкою, яка містить з одного боку подвійний зв'язок, що взаємодіє із бітумом, а з іншого боку ангідридну групу, яка може взаємодіяти із різними полімерами, що містять функційні групи (гідроксильну, епоксидну та інші). Далі, додаючи до малеїнізованого бітуму (бітуму, модифікованого малеїновим ангідридом) полімер, одержаним бітум-полімерним сумішам можна надавати різних властивостей (теплостійкості, еластичності, адгезійності та інших). Дешевими полімерами, який здатний по гідроксильній групі взаємодіяти з ангідридною групою малеїнового ангідриду в бітумі є поліетиленгліколи. Встановлено, що характер впливу малеїнового ангідриду і малеїнового ангідриду разом з ПЕГ на теплостійкі характеристики бітуму є однаковий незалежно від умов модифікування. Отримані БПС, порівняно з вихідним бітумом, характеризуються вищою температурою розм'якшення, нижчою пенетрацією і дуктильністю. Температура крихкості не стрімко, але зростає. Вплив використовуваних модифікаторів на еластичність бітуму є суттєвим і залежить від умов модифікування. Встановлено, що оптимальним ПЕГ для модифікування малеїнізованого бітуму, з позиції забезпечення хорошої еластичності бітуму, є ПЕГ 2000.

Ключові слова: дорожній бітум; хімічне модифікування; малеїновий ангідрид; поліетиленгліколь.

V.M. GUNKA, M.M. BRATYCHAK, Yu.M. HRYNCHUK, Yu.V. PRYSIAZHNYI, Iu.V. SIDUN, Yu.Ia. DEMCHUK

CHEMICAL MODIFICATION OF ROAD PETROLEUM BITUMEN WITH MALEIC ANHYDRIDE AND POLYETHYLENE GLYCOLS

A number of problems arise in the production and application of road bitumen. One of them is unsatisfactory operational characteristics, mainly heat resistance, elasticity and adhesion between the binder and aggregate. With an increase in the intensity of traffic, an increase in the volume of heavy goods transportation, the mass of cars, together with the influence of weather and climate factors on the structure, this leads to the destruction of the road surface. The work describes the results of the study of the process of chemical modification of road petroleum bitumen with maleic anhydride and polyethylene glycols (PEG) to obtain bitumen-polymer mixtures, which, in addition to good heat resistance, also have high elasticity. When modifying road bitumen with maleic anhydride, the latter acts as a certain narrowing link, which contains on the one hand a double bond that interacts with bitumen, and on the other hand an anhydride group that can interact with various polymers containing functional groups (hydroxyl, epoxy and other). Further, by adding a polymer to maleinized bitumen (bitumen modified with maleic anhydride), the resulting bitumen-polymer mixtures can be given various properties (heat resistance, elasticity, adhesion, and others). Polyethylene glycol is a cheap polymer capable of interacting with the anhydride group of maleic anhydride in bitumen on the hydroxyl group. It was established that the effect of maleic anhydride and maleic anhydride together with PEG on the heat-resistant characteristics of bitumen is the same regardless of the modification conditions. Compared to the original bitumen, the obtained BPS is characterized by a higher softening temperature, lower penetration and ductility. The temperature of brittleness is not rapid, but it is increasing. The influence of the used modifiers on bitumen elasticity is significant and depends on the modification conditions. It was established that PEG 2000 is the optimal PEG for modifying maleinized bitumen, from the point of view of ensuring good bitumen elasticity.

Keywords: road bitumen; chemical modification; maleic anhydride; polyethylene glycol.

В.М. ГУНЬКА, М.М. БРАТИЧАК, Ю.М. ГРИНЧУК, Ю.В. ПРИСЯЖНИЙ, Ю.В. СІДУН, Ю.Я ДЕМЧУК

ХИМИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ НЕФТЯНЫХ БИТУМОВ МАЛЕИНОВЫМ АНГИДРИДОМ И ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯМИ

При производстве и применении дорожных битумов возникает ряд проблем. Одна из них – неудовлетворительные эксплуатационные характеристики, в основном теплостойкость, эластичность и адгезия между вяжущим и заполнителем. При увеличении интенсивности дорожного движения, росте объемов большегрузных перевозок, массы автомобилей вместе с влиянием на конструкцию погодно-климатических факторов это приводит к разрушению дорожного покрытия. В работе

описаны результаты изучения процесса химической модификации дорожных нефтяных битумов малеиновым ангидридом и полиэтиленгликолями (ПЭГ) с получением битум-полимерных смесей, которые кроме хорошей теплостойкости также обладают высокой эластичностью. При модифицировании дорожного битума малеиновым ангидридом последний выступает определенным сужающим звеном, содержащим с одной стороны двойную связь, взаимодействующую с битумом, а с другой стороны ангидридную группу, которая может взаимодействовать с различными полимерами, содержащими функциональные группы (гидроксильную, и др.). Далее, добавляя к малеинизированному битуму (битуму, модифицированному малеиновым ангидридом) полимер, полученным битум-полимерным смесям можно придавать различные свойства (теплостойкость, эластичность, адгезионность и другие). Дешевым полимером, способным по гидроксильной группе взаимодействовать с ангидридной группой малеинового ангидрида в битуме являются полиэтиленгликоли. Установлено, что характер воздействия малеинового ангидрида и малеинового ангидрида вместе с ПЭГ на теплостойкие характеристики битума одинаков одинаково независимо от условий модификации. Полученные БПС по сравнению с исходным битумом характеризуются более высокой температурой размягчения, более низкой пенетрацией и дуктильностью. Температура хрупкости не быстро, но растет. Влияние используемых модификаторов на эластичность битума существенно и зависит от условий модификации. Установлено, что оптимальным ПЭГ для модификации малеинизированного битума, с позиции обеспечения хорошей эластичности битума, является ПЭГ 2000.

Ключевые слова: дорожный битум; химическая модификация; малеиновый ангидрид; полиэтиленгликоль.

Вступ. Битум має понад 250 відомих застосувань, більшість з яких використовуються в дорожньому та покрівельному будівництві. За оцінками близько 85 % всього бітуму використовується як в'язучий матеріал в різних видах асфальтових покриттів. При цьому понад 90 % глобальної мережі доріг – це «бітумні» дороги. Бітумні матеріали міцніші та безпечніші у використанні, а також принаймні в 2-2,5 рази дешевші, ніж цемент та інші дорожні матеріали [1-3].

Попри таку важливість і широке використання дорожніх бітумів при їх одержанні і застосуванні виникає ряд проблем. Одна з них – це незадовільні експлуатаційні характеристики, в основному теплостійкість, еластичність та адгезія між в'язучим та заповнювачем, що при збільшенні інтенсивності дорожнього руху, зростанні обсягів великовантажних перевезень, маси автомобілів, разом із впливом на конструкцію погодно-кліматичних факторів, призводить до руйнування дорожнього покриття. У зв'язку з цим для покращення характеристик дорожніх бітумів до них необхідно додавати модифікатори.

На даний час основною групою модифікаторів дорожніх бітумів є полімерні речовини, а традиційним методом їх поєднання з бітумом є фізичне змішування (тому даний спосіб модифікування називається фізичним) [4-6].

Проте у сфері фізичного модифікування дорожніх бітум також не без труднощів. Зокрема, загально відомо, що традиційні товарні полімери (не виключенням цього є чи не найбільш використовуваний у всьому світі стирол-бутадієн-стирол (SBS)) володіють поганою сумісністю з бітумами, особливо при зберіганні. Такі бітум-полімерні суміші (БПС) здатні розшаруватися. Цей аспект є основним недоліком використання полімерів у фізичному модифікуванні бітумів. Його можна уникнути, якщо використовувати хімічне модифікування. Воно позбавлене цього недоліку,

оскільки в процесі модифікування утворюються міцні хімічні зв'язки між бітумом та полімером. Тут слід зауважити, що самі по собі бітуми не здатні взаємодіяти із полімерами. Тому для хімічного поєднання з модифікатором їх попередньо потрібно «підготувати».

З огляду на вище сказане в роботах [7, 8] було вивчено і описано додавання малеїнового ангідриду до дорожнього бітуму і поведінку такої суміші. Зокрема, було встановлено, що малеїновий ангідрид (МА) виступає певною звужуючою ланкою, яка містить з одного боку подвійний зв'язок, що взаємодіє із бітумом, а з іншого боку ангидридную групу, яка може взаємодіяти із різними полімерами, які містять функційні групи (гидроксильну, епоксидну та інші).

Можна припустити, що надалі, додаючи до малеїнізованого бітуму полімер, одержаним бітум-полімерним сумішам можна надавати різних властивостей (теплостійкості, еластичності, адгезійності та інших). При цьому вони будуть стабільними до розшарування.

Згідно із [9] БПС повинні володіти високою еластичністю (вище 55 %), що дозволяє дорожнім покриттям із використанням таких матеріалів деформуватися під дією зовнішніх сил, а після припинення їх дії повертатися в попередній стан. Тому в цій роботі зроблено спробу одержати БПС, які окрім хорошої теплостійкості володіли б необхідною еластичністю. Останню забезпечують, як правило довгі гнучкі аліфатичні ланки у поєднанні із жорсткими ланками сконденсованих аренів. Жорстким фрагментом може бути висококонденсована молекула бітуму (смоли та асфальтени). Дешевим полімером, який здатний по гидроксильній групі взаємодіяти з ангидридною групою малеїнового ангідриду є поліетиленгликолі. Тобто МА пропонується використовувати як зв'язуючий компонент у БПС (Бітум←МА→ПЕГ) при її одержанні методом хімічного модифікування.

Мета роботи

Встановити можливість хімічного модифікування малеїнованих дорожніх бітумів поліетиленгліколями з одержанням бітум-полімерних сумішей, які окрім хорошої теплостійкості також володіли б високою еластичністю.

Виклад основного матеріалу

Як сировину модифікування використовували окиснений дорожній нафтовий бітум марки БНД 70/100, відібраний на ПАТ «Укртатнафта» (м. Кременчук, Україна). Його характеристики наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики дорожнього нафтового бітуму марки БНД 70/100

Показник	Значення
Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, 0,1 мм	82
Температура розм'якшення, °С	47,2
Температура крижкості за Фраасом, °С	-12
Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, см	>150
Еластичність за температури 25 °С, %	10,5

Як модифікатори використовували:

- малеїновий ангідрид: порошок білого кольору; температура кипіння – 202,0 °С; температура плавлення –52,8 °С; густина при 20 °С – 1,48 г/см³; номер CAS – 108-31-6.

- поліетиленгліколі (ПЕГи): ПЕГ-200 (молекулярна маса близько 200), ПЕГ-400 (молекулярна маса близько 400), ПЕГ-2000 (молекулярна маса близько 2000); номер CAS – 25322-68-3.

Модифікування дорожнього бітуму малеїновим ангідридом та поліетиленгліколями здійснювали на лабораторній установці, схема якої наведена на рис. 1.

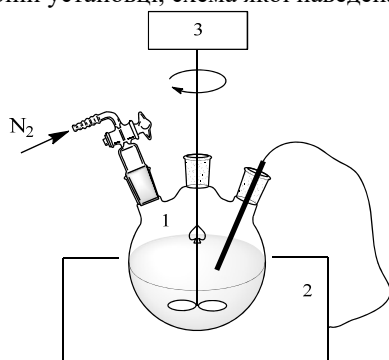


Рис. 1. Схема лабораторної установки хімічного модифікування бітуму малеїновим ангідридом та поліетиленгліколями

1 – тригорла колба; 2 – колбонагрівач із термопарою; 3 – мішалка

Процес хімічного модифікування проводили у два етапи:

- перший етап – модифікування дорожнього бітуму малеїновим ангідридом (одержання малеїнованого бітуму);

- другий етап – модифікування малеїнозаваного бітуму ПЕГ (одержання бітум / МА / ПЕГ суміші).

Для унеможливлення побічних реакцій (окиснення) перший етап модифікування дорожнього бітуму МА проводили у атмосфері інертного газу – азоту.

В табл. 2 подано умови модифікування і склад БПС.

Таблиця 2 – Умови модифікування і склад бітум-полімерних сумішей

Зразок, №	Склад БПС			Умови модифікування	
	Вміст МА, % мас. на бітум	Тип ПЕГ	Вміст ПЕГ, % мас. на бітум	Тривалість (МА / ПЕГ), год	Температура (МА / ПЕГ), °С
Вихідний бітум	-	-	-	-	-
1	2,0	-	-	1,0	130
2	2,0	-	-	1,0	180
3	2,0	ПЕГ-200	4,0	1 / 2	130 / 130
4	2,0	ПЕГ-400	4,0	1 / 2	130 / 130
5	2,0	ПЕГ-2000	4,0	1 / 2	130 / 130
6	2,0	ПЕГ-200	4,0	1 / 2	130 / 180
7	2,0	ПЕГ-400	4,0	1 / 2	130 / 180
8	2,0	ПЕГ-2000	4,0	1 / 2	130 / 180
9	2,0	ПЕГ-200	4,0	1 / 4	130 / 180
10	2,0	ПЕГ-2000	4,0	1 / 4	130 / 180
11	2,0	ПЕГ-2000	4,0	1 / 4	180 / 180

Вихідний і модифіковані бітуми аналізували згідно стандартизованих методик відповідних нормативних документів, зокрема:

- пенетрація за температури 25 °С – [10];
- температура розм'якшення – [11];
- дуктильність за температури 25 °С – [12];
- температура крижкості за Фраасом – [13];
- еластичність за температури 25 °С – [14].

Слід зауважити, що для порівняння результатів й максимально повної оцінки впливу як малеїнового ангідриду, так і поліетиленгліколів на характеристики досліджуваного бітуму, був зроблений якісний аналіз бітуму, модифікованого МА і бітуму, модифікованого МА й ПЕГ.

Обговорення результатів

В табл. 3 та 4 наведено результати модифікування дорожнього нафтового бітуму малеїновим ангідридом і поліетиленгліколями.

Таблиця 3 – Теплостійкі характеристики дорожнього нафтового бітуму, модифікованого МА і ПЕГ

Зразок, №	Характеристика			
	Температура розм'якшення, °C	Пенетрація за 25 °C, 0,1 мм	Дуктильність за 25 °C, см	Температура крижкості за Фраасом, °C
Вихідний бітум	47,2	82	>150	-12
1	56,2	42	19,0	-11
2	53,2	36	12,4	-8
3	53,8	52	8,4	-9
4	53,5	43	41,6	-10
5	55,1	38	40,2	-13
6	52,2	45	52,5	-10
7	53,3	51	35,0	-10
8	53,5	43	82,9	-12
9	55,2	30	36,1	-9
10	54,4	37	29,7	-11
11	55,6	32	27,9	-9

Таблиця 4 – Еластичність нафтового бітуму, модифікованого МА і ПЕГ

Зразок, №	Еластичність за температури 25 °C, %
Вихідний бітум	10,5
1	37,3
2	19,6
3	58,8 ¹
4	32,2
5	25,1
6	28,6
7	33,7
8	35,8
9	22,7
10	44,2
11	32,3

¹ - визначали після визначення дуктильності.

Аналіз даних табл. 3 показав, що загальний характер впливу малеїнового ангідриду і малеїнового ангідриду разом з ПЕГ на теплостійкі характеристики бітуму є однаковий незалежно від умов модифікування. Так, отримані БПС, порівняно з вихідним бітумом, характеризуються вищою температурою розм'якшення, нижчою пенетрацією і дуктильністю (зразки № 1-11). Температура крижкості не стрімко, але зростає (зразки № 1-11).

Зовсім інша картина спостерігається у значеннях еластичності (табл. 4). Як показали результати досліджень для цього показника умови модифікування відіграють суттєве значення. Так, збільшення молекулярної маси ПЕГ (із 200 до 2000) при модифікуванні малеїнованого бітуму за 130 °C показник еластичності зменшується із 58,8 до 25,1 % (зразки №3-5). У попередніх дослідженнях описаних у роботах [7, 8] встановлено, що у присутності МА у бітумі за 130 °C домінує утворення π - π комплексів, а за 170 °C проходження хімічної взаємодії за реакцією Дільса-Альдера. На думку авторів за 130 °C ПЕГ

практично не взаємодіє із МА. Утворення стабільного полімеру Бітум / МА / ПЕГ за 130 °C малоімовірно.

Оптимальною сировиною другої стадії модифікування є малеїнований бітум одержаний за 130 °C, оскільки після модифікування ПЕГ-2000 одержується продукт (зразок №10) з більшою еластичністю (44,2 %). Для порівняння БПС, одержана за 180 °C (зразок 11) є гіршою сировиною другої стадії модифікування оскільки після модифікування ПЕГ-2000 одержується продукт з меншою еластичністю (32,3 %). Тому можна стверджувати, що значень чинників першого етапу модифікування повинні становити: вміст МА – 2,0 % мас. на бітум; температура – 130 °C; тривалість – 1,0 год.

Збільшення температури до 180 °C другого етапу (модифікування малеїнованого бітуму ПЕГ) призводить до інтенсифікації хімічних реакцій (порівняно зі 130 °C), основна з яких відбувається за схемою, поданою на рис. 2. Імовірно, ПЕГ взаємодіє з ангідридною групою МА по гідроксильній групі.

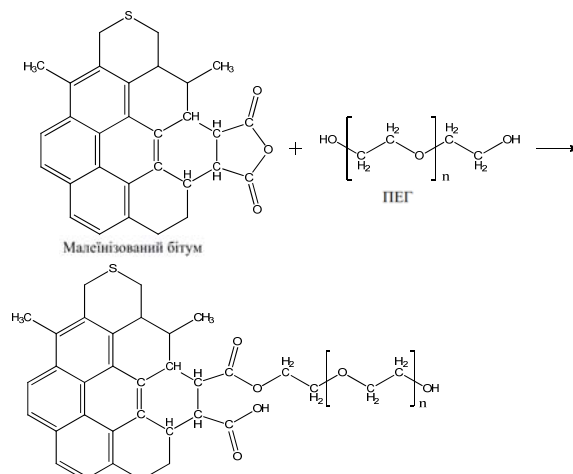


Рис. 2. Взаємодія малеїнованого бітуму з ПЕГ

Із збільшенням молекулярної маси ПЕГ за 180 °C еластичність збільшується із 28,6 до 35,8 % (зразки № 6-8). При цьому при використанні ПЕГ-2000 одержується БПС з найвищим значенням дуктильності. Тому було зроблено висновок, що оптимальним ПЕГ для модифікування малеїнованого бітуму, з позиції забезпечення хорошої еластичності бітуму, є ПЕГ-2000.

Висновки

Проведено хімічне модифікування дорожніх нафтових бітумів малеїновим ангідридом і поліетиленгліколями.

Характер впливу малеїнового ангідриду і малеїнового ангідриду разом з ПЕГ на теплостійкі характеристики бітуму є однаковий незалежно від

умов модифікування. Отримані БПС, порівняно з вихідним бітумом, характеризуються вищою температурою розм'якшення, нижчою пенетрацією і дуктильністю. Температура крихкості не стрімко, але зростає.

Вплив малеїнового ангідриду і малеїнового ангідриду разом з ПЕГ на еластичність бітуму є суттєвим і залежить від умов модифікування. Встановлено, що оптимальним ПЕГ для модифікування малеїнізованого бітуму, з позиції забезпечення хорошої еластичності бітуму, є ПЕГ-2000. При цьому умови модифікування повинні бути наступними: температура – 130 °С для першого етапу і 180 °С для другого; тривалість – 1,0 год для першого етапу і 2,0 год для другого; вміст МА в БПС – 2,0 % на бітум; вміст ПЕГ-2000 в БПС – 4,0 % на бітум.

Список літератури

- Anupam K., Akinmade D., Kasbergen C., Erkens S., & Adebisi, F. A state-of-the-art review of Natural bitumen in pavement: Underlining challenges and the way forward. *Journal of Cleaner Production*. 2022, 134957. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134957>
- Gautam P. K., Kalla P., Jethoo A. S., Agrawal R., & Singh H. Sustainable use of waste in flexible pavement: A review. *Construction and Building Materials*. 2018, № 180, P. 239-253. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.067>
- Revuelta M. B. Construction Materials: Geology, Production and Applications. *Springer Nature*, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65207-4>
- Johan Philip Pfeiffer. The Properties of Asphaltic Bitumen: With Reference to Its Technical Applications. *Literary Licensing, LLC*, 2013, 300 p.
- Солодкий С.Й. Дорожні одяги. *Видавництво Львівської політехніки*, 2020, 220 с.
- Michele Porto, Paolino Caputo, Valeria Loise, Shahin Eskandarsefat, Bagdat Teltayev and Cesare Oliviero Rossi. Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances. *Applied Sciences*. 2019, №9, P. 742. <https://doi.org/10.3390/app9040742>
- Volodymyr Gunka, Yuriy Prysiaznyi, Yurii Hrynychuk, Iurii Sidun, Yuriy Demchuk, Volodymyr Bidos, Volodymyr Reutsky and Michael Bratychak. Investigation of the process of modification of petroleum road bitumen by maleic anhydride. *Theory and Building Practice*, 2021, Vol. 3, №2. p. 39-45. <https://doi.org/10.23939/jtbp2021.02.039>
- Volodymyr Gunka, Yuriy Prysiaznyi, Yurii Hrynychuk, Yurii Sidun, Yuriy Demchuk, Olena Shyshchak, Michael Bratychak. Production of Bitumen Modified with Low-Molecular Organic Compounds from Petroleum Residues. 2. Bitumen Modified with Maleic Anhydride // *Chemistry and Chemical Technology*, 2021, Vol. 15, №3, p. 443–449. <https://doi.org/10.23939/chcht15.03.443>
- ДСТУ 9116:2021. Бітум та бітумні в'язучі. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови, 2021.
- ДСТУ EN 1426:2018. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення глибини проникності голки (пенетрації) (EN 1426:2015, IDT), 2018.
- ДСТУ EN 1427:2018. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення температури розм'якшеності за методом кільця і кулі (EN 1427:2015, IDT), 2018.
- ДСТУ 8825:2019. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення розтяжності, 2019.
- ДСТУ EN 12593:2018. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення температури крихкості за методом Фрааса (EN 12593:2015, IDT), 2018.
- ДСТУ EN 13398:2018. Бітум та бітумні в'язучі. Метод визначення еластичності (EN 13398:2017, IDT), 2018.
11. Anupam K., Akinmade D., Kasbergen C., Erkens S., & Adebisi, F. A state-of-the-art review of Natural bitumen in pavement: Underlining challenges and the way forward. *Journal of Cleaner Production*. 2022, 134957. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134957>
12. Gautam P. K., Kalla P., Jethoo A. S., Agrawal R., & Singh H. Sustainable use of waste in flexible pavement: A review. *Construction and Building Materials*. 2018, № 180, P. 239-253. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.067>
13. Revuelta M. B. Construction Materials: Geology, Production and Applications. *Springer Nature*, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65207-4>
14. Johan Philip Pfeiffer. The Properties of Asphaltic Bitumen: With Reference to Its Technical Applications. *Literary Licensing, LLC*, 2013, 300 p.
15. Solodkyi S.Io. Dorozhni odiahy. *Vydavnytstvo Lvivskoi politehniky*, 2020, 220 p.
16. Michele Porto, Paolino Caputo, Valeria Loise, Shahin Eskandarsefat, Bagdat Teltayev and Cesare Oliviero Rossi. Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances. *Applied Sciences*. 2019, №9, P. 742. <https://doi.org/10.3390/app9040742>
17. Volodymyr Gunka, Yuriy Prysiaznyi, Yurii Hrynychuk, Iurii Sidun, Yuriy Demchuk, Volodymyr Bidos, Volodymyr Reutsky and Michael Bratychak. Investigation of the process of modification of petroleum road bitumen by maleic anhydride. *Theory and Building Practice*, 2021, Vol. 3, №2. p. 39-45. <https://doi.org/10.23939/jtbp2021.02.039>
18. Volodymyr Gunka, Yuriy Prysiaznyi, Yurii Hrynychuk, Yurii Sidun, Yuriy Demchuk, Olena Shyshchak, Michael Bratychak. Production of Bitumen Modified with Low-Molecular Organic Compounds from Petroleum Residues. 2. Bitumen Modified with Maleic Anhydride // *Chemistry and Chemical Technology*, 2021, Vol. 15, №3, p. 443–449. <https://doi.org/10.23939/chcht15.03.443>
19. ДСТУ 9116:2021. Бітум та бітумні в'язучі. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови, 2021.
20. ДСТУ EN 1426:2018. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення глибини проникності голки (пенетрації) (EN 1426:2015, IDT), 2018.
21. ДСТУ EN 1427:2018. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення температури розм'якшеності за методом кільця і кулі (EN 1427:2015, IDT), 2018.
22. ДСТУ 8825:2019. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення розтяжності, 2019.
23. ДСТУ EN 12593:2018. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення температури крихкості за методом Фрааса (EN 12593:2015, IDT), 2018.
24. ДСТУ EN 13398:2018. Бітум та бітумні в'язучі. Метод визначення еластичності (EN 13398:2017, IDT), 2018.

References (transliterated)

Відомості про авторів (About authors)

Гунька Володимир Мирославович (Gunka Volodymyr) – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри хімічної технології переробки нафти та газу; м. Львів, Україна; ORCID: 0000-0002-3480-0693; e-mail: volodymyr.m.hunka@lpnu.ua.

Братичак Михайло Миколайович (Bratychak Michael) – доктор хімічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри хімічної технології переробки нафти та газу; м. Львів, Україна; ORCID: 0000-0002-4920-8940; e-mail: mykhailo.m.bratychak@lpnu.ua.

Гринчук Юрій Миколайович (Hrynchuk Yuriy) – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри фізичної, аналітичної та загальної хімії; м. Львів, Україна; ORCID: 0000-0001-9023-5900; e-mail: yurii.m.hrynchuk@lpnu.ua.

Присяжний Юрій Володимирович (Prysiashnyi Yuriy) – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри хімічної технології переробки нафти та газу; м. Львів, Україна; ORCID: 0000-0003-1881-7900; e-mail: yurii.v.prysiashnyi@lpnu.ua.

Сідун Юрій Володимирович (Sidun Iurii) – кандидат технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри автомобільних доріг та мостів; м. Львів, Україна; ORCID: 0000-0003-3606-6899; e-mail: yurii.v.sidun@lpnu.ua.

Демчук Юрій Ярославович (Yuriy Demchuk) – доктор філософії, Національний університет «Львівська політехніка», асистент кафедри хімічної технології переробки нафти та газу; м. Львів, Україна; Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, асистент кафедри загальної, біонеорганічної, фізколоїдної хімії; м. Львів, Україна; ORCID: 0000-0001-7983-5067; e-mail: yuriy_demchuk@ukr.net.

Надійшла (received) 30.08.2023