

М.І. ДОНЧЕНКО, Д.Ю. АЛЕКСАНДРОВ, О.Б. ГРИНИШИН, Ю.В. ПРИСЯЖНИЙ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАТКОВИХ КОМПОНЕНТІВ ПРИ РОЗРОБЛЕННІ СКЛАДУ ЛІГНІН-БІТУМНИХ ГЕРМЕТИЗУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Бітумні герметизуючі матеріали широко застосовують для заповнення та ущільнення швів і тріщин, забезпечення гідроізоляції та захисту будівельних конструкцій від дії вологи й атмосферних чинників. Особливе значення вони мають у дорожньому будівництві, де герметизація тріщин дає змогу запобігти подальшому руйнуванню покриття та подовжувати строк його експлуатації. Перспективним напрямом удосконалення складу бітумних мастик є використання промислових відходів і вторинної сировини як наповнювачів та додатків. Це особливо актуально з огляду на сучасну глобальну стратегію «подвійного вуглецю», відповідно до якої розвиток екологічно чистих і відновлюваних матеріалів стає одним із ключових напрямів у дорожньо-будівельній галузі. Перспективним компонентом у цьому напрямку постає біополімер лігнін. Авторами роботи попередньо визначено оптимальні технологічні параметри поєднання лігніну з бітумом під час формування складу мастик, за яких цей компонент проявляє максимальний функціональний потенціал. Зокрема, встановлено, що оптимальними умовами є температура процесу 160 °С, тривалість змішування 10-30 хв та вміст лігніну на рівні 50-60 % мас. відносно бітуму. Водночас, зважаючи на властивості отриманої суміші бітум-лігнін, виникає необхідність подальшого коригування її складу для забезпечення відповідності вимогам чинного нормативного документу для дорожніх мастик. У зв'язку з цим представлені дослідження спрямовані на вивчення впливу додаткових компонентів під час розроблення складу лігнін-бітумних герметизуючих матеріалів, зокрема гумової крихти та промислового полімеру Calprene 501 M. Встановлено, що як гумова крихта, так і Calprene 501 M сприяють підвищенню еластичності отриманих композицій. Разом з тим, на відміну від гумової крихти, полімер Calprene 501 M забезпечує також суттєве підвищення температури розм'якшення. Введення обох добавок зумовлює зменшення показника penetрації. Отримані результати дозволяють припустити, що для покращення термопластичних властивостей системи бітум-лігнін доцільним є додаткове введення пластифікуючих компонентів.

Ключові слова: бітумна мастика; герметизуючі матеріали; лігнін; біополімер.

M.I. DONCHENKO, D.Y. ALEKSANDROV, O.B. GRYNYSHYN, Yu. V. PRYSIAZHNYI

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ADDITIONAL COMPONENTS IN THE DEVELOPMENT OF LIGNIN-BITUMEN CRACK SEALING MATERIALS FOR ROAD APPLICATION

Bituminous crack sealing materials are widely used for filling and sealing joints and cracks, providing waterproofing, and protecting building structures from moisture and environmental influences. They are of particular importance in road construction, where crack sealing helps prevent further pavement deterioration and extends its service life. A promising approach to improving the composition of bituminous mastics is the use of industrial waste and secondary raw materials as fillers and additives. This is especially relevant in the context of the modern global “dual-carbon” strategy, according to which the development of environmentally friendly and renewable materials has become one of the key directions in the road construction sector. In this regard, the biopolymer lignin appears to be a promising component. In previous studies, the authors determined the optimal technological parameters for combining lignin with bitumen during the development of mastic formulations, under which this component exhibits its maximum functional potential. In particular, it was established that the optimal conditions include a process temperature of 160 °C, a mixing time of 10-30 minutes, and a lignin content of 50-60 wt. % relative to bitumen. However, considering the properties of the obtained bitumen-lignin mixture, further adjustment of its composition is required to ensure compliance with the requirements of current regulatory documents governing the characteristics of road crack sealing materials. Therefore, the studies presented in this paper are aimed at investigating the influence of additional components in the formulation of lignin-bitumen crack sealing materials, specifically crumb rubber and the industrial polymer Calprene 501 M. It was found that both crumb rubber and Calprene 501 M contribute to an increase in the elastic recovery of the obtained compositions. At the same time, unlike crumb rubber, the polymer Calprene 501 M also leads to a significant increase in the softening temperature. Additionally, the introduction of both additives results in a decrease in penetration values. The obtained results suggest that, in order to improve the thermoplastic properties of the bitumen-lignin system, the additional incorporation of plasticizing components may be advisable.

Keywords: bitumen mastic; crack sealing materials; lignin; biopolymer.

Вступ. Аналіз різних видів бітумної продукції з урахуванням їх функціонального призначення та експлуатаційних характеристик дає змогу виокремити окрему групу матеріалів – бітумні герметизуючі матеріали. Основне призначення таких матеріалів полягає у заповненні та ущільненні швів, тріщин і стикових з'єднань, забезпеченні гідроізоляції будівельних конструкцій, запобіганні корозії, а також у склеюванні й фіксації окремих елементів та формуванні захисних покривних шарів [1].

За складом герметизуючі матеріали поділяють на дві групи: герметики, які не містять наповнювачів, і мастики, до складу яких вони входять [2]. Відповідно до умов застосування, герметики найчастіше використовують для герметизації деформаційних швів у дорожніх покриттях і мостових конструкціях,

ремонті тріщин у бетонних та асфальтобетонних покриттях, а також для ущільнення стиків покрівельних матеріалів, бетонних конструкцій і резервуарів [3,4].

Мастики відзначаються ширшим спектром використання. Залежно від їх властивостей, вони можуть застосовуватися як [5]:

– основа для підлогових покриттів на гальванічних та хімічних виробництвах завдяки підвищеній стійкості до хімічних впливів і зношування;

– матеріали для заповнення тріщин і порожнин у бетоні, асфальті, покрівельних рулонних матеріалах та цегляній кладці завдяки високій адгезії та еластичності;

– герметизуючі засоби для водостічних систем,

трубопроводів, мансардних вікон, збірних бетонних конструкцій, швів, резервуарів і підвальних приміщень через здатність формувати надійний водонепроникний бар'єр;

– покривні матеріали для мостових настилів і пішохідних зон, що відзначаються довговічністю та стійкістю до атмосферних впливів, ультрафіолетового випромінювання і температурних змін;

– компоненти дорожніх покриттів, які сприяють зменшенню вібрацій, шуму та пом'якшенню ударних навантажень.

З огляду на різноманітність сфер застосування, герметизуючі матеріали відіграють важливу роль у захисті будівельних конструкцій від впливу води, вологи та атмосферних факторів. Їх використання як під час будівництва нових об'єктів, так і при ремонті існуючих споруд сприяє підвищенню надійності конструкцій та подовженню строку їх експлуатації.

Одним із об'єктів, довговічність якого значною мірою залежить від застосування герметизуючих матеріалів, є дорожнє покриття. Серед різноманітних пошкоджень саме утворення тріщин є одним із перших проявів втрати його цілісності [6]. Основними причинами появи таких дефектів є інтенсивні транспортні навантаження та вплив навколишнього середовища. Встановлено, що навіть поодинокі тріщини можуть призводити до зменшення несучої здатності основи та проникнення вологи у нижні шари дорожньої конструкції, що поступово спричиняє руйнування дорожнього покриття. У випадку утворення розгалуженої сітки тріщин та відсутності своєчасного ремонту відбувається розвиток вторинних дефектів, таких як ями та вибоїни [7].

Практика дорожнього будівництва підтверджує, що герметизація тріщин є одним із найбільш результативних способів запобігання подальшому руйнуванню дорожнього покриття, оскільки вона обмежує проникнення води та сповільнює розвиток пошкоджень [8,9].

Для виконання таких робіт широко використовують бітумні герметизуючі матеріали, серед яких особливу роль відіграють мастики. Їх популярність зумовлена поєднанням адгезійних, еластичних і захисних властивостей. Експлуатаційні характеристики мастик залежать не лише від властивостей бітуму як в'язучого компонента, а й від типу та кількості введених наповнювачів і добавок. Змінюючи їх склад та кількість, можна отримувати матеріали з необхідними фізико-механічними показниками, що дає змогу оптимізувати технологію виробництва та підвищити ефективність застосування таких продуктів.

Традиційно як наповнювачі використовують дрібнодисперсні порошкоподібні матеріали, отримані шляхом подрібнення мінеральної сировини різного

походження, або гумову крихту. До найпоширеніших порошкоподібних наповнювачів належать: каолін, тальк, тальк-магнезит і вапняковий порошок [10].

У контексті сучасної тенденції раціонального використання промислових відходів та некондиційної продукції як вторинної сировини, перспективним компонентом для мастик є лігнін. Цей природний біополімер уже тривалий час застосовується у дорожньому будівництві за кордоном, тоді як в Україні він залишається практично невикористаним і накопичується у вигляді відходів поблизу підприємств, що його виробляють [11]. У зв'язку з цим дослідження можливості введення лігніну до складу мастик для герметизації тріщин у дорожньому покритті є актуальним і перспективним напрямом досліджень.

Слід зауважити, що за результатами попередніх досліджень авторами вже визначено оптимальні технологічні параметри поєднання лігніну з бітумом під час розроблення складу мастик, за яких цей компонент проявляє максимальний функціональний потенціал. До таких умов належать: температура процесу 160 °С, тривалість змішування 10-30 хв та вміст лігніну на рівні 50-60 % мас. на бітум. Водночас, з огляду на властивості отриманої суміші бітум-лігнін, виникає необхідність подальшого коригування складу для забезпечення відповідності вимогам чинного нормативного документу, що регламентує характеристики бітумних мастик дорожнього застосування [2].

Мета роботи. Дослідити вплив додаткових компонентів (гумової крихти та SBS-полімеру Calprene 501 M) на властивості суміші бітум-лігнін з метою створення лігнін-бітумних матеріалів для дорожнього застосування, які б відповідали необхідним вимогам чинного нормативного документу.

Виклад основного матеріалу. Як основний компонент для формування структури майбутньої мастики використовували окиснений дорожній бітум марки БНД 70/100, відібраний на ПАТ «Укртатнафта» (м. Кременчук, Україна) з відповідними характеристиками, що наведені в табл. 1.

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

Показник	Значення
Глибина проникності голки (пенетрація), 0,1 мм	77
Температура розм'якшення, °С	48,5
Дуктильність, см	86
Еластичність, %	15
Адгезія до щебеню, бали	3,5

Зразок гідролізного лігніну відбирали безпосередньо у зоні його складування (Запорізька

обл., Україна). Відібраний матеріал містив значну кількість сторонніх домішок, зокрема залишки непереробленої рослинної сировини та неорганічні компоненти, такі як гашене вапно $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і гіпсовий шлам. Присутність $\text{Ca}(\text{OH})_2$ пов'язана з його використанням як нейтралізатора сірчаної кислоти на стадії переробки гідролізату рослинної сировини, тоді як гіпсовий шлам утворився як побічний продукт цього процесу нейтралізації. Таким чином, обидва компоненти потрапляли до складу лігніну під час його осадження та подальшого промивання. Зважаючи на це, перед використанням у дослідженнях зразок лігніну піддавали попередньому очищенню для підвищення ступеня його чистоти.

Очищення здійснювали шляхом механічного видалення великих часток рослинних залишків і неорганічних включень. Після цього лігнін подрібнювали та висушували до повітряно-сухого стану та проводили класифікацію на ситах із різним розміром отворів. Для досліджень використовували фракцію з розміром частинок $\leq 0,1$ мм. Характеристики отриманої фракції лігніну ($\leq 0,1$ мм) визначені згідно методики [12] наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Якісно-кількісний аналіз лігніну

Показник	Значення
Вміст вологи (W^d), % мас.	2,63
Зольність (A^d), % мас.	27,45
Вихід летких речовин (V^d), % мас.	49,74
Вміст загальної сірки (S_t^d), % мас.	0,71
Вміст вуглецю (C^d), % мас.	42,36
Вміст водню (H^d), % мас.	4,26
Вміст азоту (N^d), % мас.	0,61
Вміст кисню (O_d^d), % мас.	24,61

Гумову крихту з розміром частинок $\leq 0,5$ мм отримували шляхом подрібнення використаних автомобільних шин. Після цього матеріал просіювали за допомогою сит із різним розміром отворів. Для подальших досліджень відбирали фракцію з розміром частинок $\leq 0,1$ мм.

Також для досліджень використовували промисловий модифікатор дорожніх бітумів Calprene 501 M, що є лінійним SBS-полімером (styrene-butadiene-styrene). Полімер виробляється компанією Dynasol Group та має вигляд білих гранул, що отримуються методом полімеризації з розчину.

Для оцінювання адгезії бітуму до поверхні мінерального матеріалу використовували гранітний щебінь із природного каменю відповідних фракцій, відібраний на ТОВ «Новоград-Волинський каменедробильний завод».

Приготування бітумних сумішей здійснювали за допомогою змішувача Daihan Scientific HT-50 DX. Методика була наступною: зразок бітуму зважували з точністю до 0,01 г та поміщали у металеву ємність, яку встановлювали в електронагрівальний пристрій із терморегулятором. В'яжуче нагрівали до заданої

температури за безперервного перемішування зі швидкістю 600-800 об/хв, після чого вводили необхідну кількість добавок (лігнін, гумову крихту та/або Calprene 501 M). Подальше змішування проводили за сталої температури протягом визначеного часу.

Для вихідного бітуму та бітумних сумішей з наповнювачами визначали основні експлуатаційні показники відповідно до стандартизованих методик [13-17].

У табл. 3 наведено умови та способи введення зазначених добавок у бітум. Вибір відповідних параметрів ґрунтувався на аналізі літературних джерел і практичних рекомендацій [10,18].

Таблиця 3 – Умови і спосіб введення додатків до бітуму

Показник	Значення для	
	гумової крихти	Calprene 501 M
Температура перемішування, °C ($\pm 5^\circ\text{C}$)	180	170
Тривалість перемішування, хв	120	120
Кількість лігніну на бітум, % мас.	50	50
Кількість добавки на бітум, % мас.	5	3
Спосіб додавання	Змішували необхідну кількість додатку (ГК чи Calprene 501 M) з вказаною кількістю лігніну. При досягненні температури процесу отриману суміш (лігнін-ГК чи лігнін-Calprene 501 M) поступово вводили в бітум, після чого проводили їх змішування з бітумом за визначених умов.	

Обговорення результатів. Отримані результати досліджень щодо впливу гумової крихти і Calprene 501 M на фізико-механічні властивості суміші бітум-лігнін наведені в табл. 4 і 5.

Слід зауважити, що значення для суміші бітум-лігнін, наведені у вказаних таблицях відображають характеристики суміші, одержаної за оптимальних умов (кількість лігніну на бітум 50 % мас., температура процесу 160 °C, тривалість перемішування 10 хв.).

Як можна спостерігати із наведених в табл. 4 результатів, завдяки додаванню до суміші бітум-лігнін гумової крихти вдається дещо підвищити значення температури розм'якшення та еластичності. Без змін залишається адгезія до щебеню. Водночас можна спостерігати незначне зниження дуктильності та стрімке зниження пенетрації отриманої суміші.

Таблиця 4 – Вплив гумової крихти на характеристики суміші бітум-лігнін

Показник	Значення для суміші бітум-лігнін	Значення для суміші бітум-лігнін-ГК	Вимоги до мастик згідно [2]
Глибина проникності голки, ·0,1 мм	59	46	40-90
Температура розм'якшення, °С	65,6	70,8	≥ 95
Дуктильність, см	9	8	≥ 20
Еластичність, %	9,1	35,7	≥ 65
Адгезія до щебеню, бали	5,0	5,0	5,0

Виходячи із вказаних закономірностей можна вважати, що гумова крихта є ефективним додатком, який позитивно впливає на еластичність суміші, однак цього недостатньо з огляду на вимоги до герметизуючого матеріалу згідно [2]. Тому, очевидно, потрібно додатково досліджувати умови введення та кількість гумової крихти для досягнення нормативних значень всіх показників отриманої суміші згідно вказаного нормативного документу.

Таблиця 5 – Вплив Calprene 501 М на характеристики суміші бітум-лігнін

Показник	Значення для суміші бітум-лігнін	Значення для суміші бітум-лігнін-Calprene 501 М	Вимоги до мастик згідно [2]
Глибина проникності голки, ·0,1 мм	59	38	40-90
Температура розм'якшення, °С	65,6	95,9	≥ 95
Дуктильність, см	9	7	≥ 20
Еластичність, %	9,1	76,0	≥ 65
Адгезія до щебеню, бали	5,0	5,0	5,0

Аналіз даних табл. 5 показав, що введення до складу суміші бітум-лігнін як додаткового компоненту Calprene 501 М, найбільш позитивно впливає на температуру розм'якшення та еластичність отриманої суміші. Обидва показники (їх значення 95,9 °С та 76,0 % відповідно) повністю відповідають вимогам стандарту. Водночас, як і при додаванні гумової крихти, додавання Calprene 501 М негативно вплинуло на глибину проникнення голки, яка знизилась до 38·0,1 мм та дуктильність, яка залишилась на низькому рівні.

Слід зазначити, що як для зразка суміші, модифікованої Calprene 501 М, так і для зразка, модифікованого гумовою крихтою, на сталому рівні

залишається адгезія до щебеню, яка для всіх зразків становить 5 балів.

З огляду на наведені результати можна зробити висновок, що введення Calprene 501 М до суміші бітум-лігнін забезпечує отримання зразків із кращими експлуатаційними характеристиками порівняно з матеріалами, модифікованими гумовою крихтою. Разом із тим доцільним є проведення додаткових досліджень щодо впливу кількості Calprene 501 М у суміші бітум-лігнін з метою оптимізації його вмісту та зниження собівартості готового продукту. Крім того, зважаючи на те, що як гумова крихта, так і Calprene 501 М зумовлюють зменшення показника penetрації отриманих композицій, варто розглянути можливість введення додаткових компонентів, зокрема пластифікаторів або восків, для забезпечення відповідності мастик вимогам чинного нормативного документу [2].

Виходячи із вищевказаного, можна вважати, що додавання до суміші бітум-лігнін Calprene 501 М сприяє отриманню зразків суміші з кращими властивостями у порівнянні зі зразками, одержаними при введенні гумової крихти. Водночас необхідно додатково вивчити вплив дозування Calprene 501 М в суміші бітум-лігнін для того, щоб максимально здешевити вартість кінцевого продукту. Також, оскільки і гумова крихта, і Calprene 501 М негативно впливають на penetрацію отриманих сумішей, доцільно вивчити можливість введення додаткових компонентів, наприклад пластифікаторів чи восків, для забезпечення всіх вимог нормативного документу для мастик [2].

Висновки. Досліджувалась можливість застосування лігніну як наповнювача у складі бітумних мастик, призначених для використання в дорожній галузі. У дослідженнях використовувалась сировина вітчизняного походження, зокрема гідролізний лігнін та дорожній бітум, одержаний шляхом окиснення нафтових залишків.

З метою зменшення негативного впливу лігніну на еластичні властивості бітумного в'язучого запропоновано, разом із лігніном, вводити до складу суміші додаткові модифікуючі компоненти. Зокрема, гумову крихту та промисловий полімер Calprene 501 М. Встановлено, що як гумова крихта, так і Calprene 501 М сприяють підвищенню показника еластичності. Водночас, на відміну від гумової крихти, Calprene 501 М забезпечує також істотне зростання температури розм'якшення. Разом із цим, обидві добавки зумовлюють зменшення значення penetрації отриманих сумішей.

Висунуто припущення, що для покращення термопластичних властивостей системи бітум-лігнін доцільним є додаткове введення до її складу пластифікуючих добавок.

Список літератури

1. Min W., Lu P., Liu S., Wang H. A Review of Crack Sealing Technologies for Asphalt Pavement: Materials, Failure Mechanisms, and Detection Methods. *Coatings*, 2025. 15(7), 1-33. <https://doi.org/10.3390/coatings15070836>
2. DSTU B.V. 2.7-136:2016. Materialy dlia hermetyzatsii shviv i trishchyn v pokryttiakh dorozhnoho odiahu avtomobilnykh dorih. Zahalnyi tekhnichni vymohy (DSTU B.V. 2.7-136:2016, IDT), 2017. ДСТУ Б В.2.7-136:2016 Матеріали для герметизації швів і тріщин в покриттях дорожнього одягу автомобільних доріг. Загальні технічні вимоги
3. Stepien J., Iwański M. M., Remišová E., Decký M., Briliak D. The comparative studies of the properties of joint sealants produced by manufacturers and in laboratory conditions with the use of highly modified bitumen. *Structure and Environment*, 2023. 15 (4), 227-243. [sae-2023-020.pdf](https://doi.org/10.3389/stru.2023.1020.pdf)
4. Bitumen sealants Sferaizol [Electronic resource]. – Access mode: <https://sferaizol.com/product-category/hermetyky-bitumni/>
5. Bitumen mastic KIA PETRO [Electronic resource]. – Access mode: <https://kiapetro.com/en/product-category/bitumen/bitumen-mastic/>
6. Jie J., Kui X., Yanbin S., Ling G., Jinzhu Z. Investigation of cracking behavior in asphalt pavement using digital image processing technology. *Front. Built Environ.*, 2025. 11, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1580379>
7. Gong Y., Wu S., Zhang Y., Pang Y., Ma Y. Investigation of the High-Temperature and Rheological Properties for Asphalt Sealant Modified by SBS and Rubber Crumb. *Polymers*, 2022. 14, 1-17. <https://doi.org/10.3390/polym14132558>
8. Munch J., Arepalli U.M., Barman M. Decision Trees for Selecting Asphalt Pavement Crack Sealing Method. *Transp. Res. Rec.* 2020. 2675 (1), 172-183. <https://doi.org/10.1177/0361198120960135>
9. Yildirim Y. Field performance comparison of asphalt crack-filling materials: Hot pour versus cold pour. *J. Civ. Eng.*, 2007. 34(4), 505-512. <https://doi.org/10.1139/106-143>
10. Gnatenko R., Tsyrukunova K., Zhdanyuk V. Technological sides of crack sealing in asphalt pavements *Transportation Research Procedia*, 2016. 14, 804-810. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.028>
11. Luo Y., Ge G., Yang Y., Ban X., Wang X., Zhang Z., Bai B. A Review on the Preparation, Properties, and Mechanism of Lignin-Modified Asphalt and Mixtures. *Sustainability*, 2026. 18, 1-40. <https://doi.org/10.3390/su18031536>
12. DSTU 17247:2010. Vuhillia. Elementnyi analiz. (ISO 17247:2010, IDT), 2012. ДСТУ ISO 17247:2010 Вугілля. Елементний аналіз (ISO 17247:2006, IDT)
13. DSTU EN 1427:2018. Bitum ta bitumni viazhuchi. Vyznachennia temperatury rozmiakshenosti za metodom kicia i kuli (EN 1427:2015, IDT), 2018. ДСТУ EN 1427:2018 Бітум та бітумні в'язучі. Визначення температури розм'якшеності за методом кильця і кулі (EN 1427:2015, IDT)
14. DSTU EN 1426:2018. Bitum ta bitumni viazhuchi. Vyznachennia glybyny pronynkosti golky (penetracii) (EN 1426:2015, IDT), 2018. ДСТУ EN 1426:2018 Бітум та бітумні в'язучі. Визначення глибини проникності голки (пенетрації) (EN 1426:2015, IDT)
15. DSTU 8825:2019. Bitum ta bitumni viazhuchi. Vyznachennia roztiashnosti, 2019. ДСТУ 8825:2019 Бітум та бітумні в'язучі. Метод визначення розтяжності
16. DSTU EN 13398:2018. Bitum ta bitumni viazhuchi. Metod vyznachennia elastychnosti (EN 13398:2017, IDT), 2018. ДСТУ EN 13398:2018 Бітум та бітумні в'язучі. Метод визначення еластичності (EN 13398:2017, IDT)
17. DSTU EN 8787:2018. Bitum ta bitumni viazhuchi. Metod vyznachennia zchepliuvanosti z shchebenem (EN 8787:2018, IDT), 2018. ДСТУ 8787:2018 Бітум та бітумні в'язучі. Метод визначення зчеплюваності зі щебенем
18. Zakerzadeh M., Shahbodagh B., Ng J., Khalili N. The use of waste tyre rubber in Stone Mastic Asphalt mixtures: A critical review. *Constr. Build. Mater.*, 2024. 418, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135420>

Подяка

Дана робота виконана в рамках реалізації Проєкту «Одержання лігнін-бітумних мастик різнотипного застосування для герметизації тріщин в асфальтобетонному покритті» (грант № 2025.05/0017) від Національного фонду досліджень України (Конкурс на одержання грантів Президента України для підтримки наукових досліджень і розробок молодих вчених-докторів філософії/кандидатів наук (до 35 років включно).

Відомості про авторів / About authors

Донченко Мирослава Ігорівна (Donchenko Myroslava) – доктор філософії, Національний університет «Львівська політехніка», асистент кафедри хімічної технології переробки нафти та газу, м. Львів, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4961-1702>; e-mail: myroslava.i.donchenko@lpnu.ua.

Александров Дмитро Юрійович (Dmytro Aleksandrov) – аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», аспірант кафедри хімічної технології переробки нафти та газу, м. Львів, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3026-5707>; e-mail: dmytro.y.aleksandrov@lpnu.ua.

Гринишин Олег Боданович (Grynshyn Oleg) – доктор технічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри хімічної технології переробки нафти та газу, м. Львів, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4103-3784>; e-mail: ogrynshyn@ukr.net

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

Дата надходження статті: 01.03.26 р.

Дата прийняття до друку: 10.04.26 р.