

С. В. Пиш'єв<sup>1</sup>, О. М. Кухар<sup>1</sup>, Ю. В. Присяжний<sup>1</sup>, Б. О. Корчак<sup>2</sup>,  
М. В. Нявкевич<sup>1</sup>, Г. Фалтинович<sup>3</sup>, І. В. Житнецький<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра хімічної технології переробки нафти та газу

<sup>2</sup> Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра цивільної безпеки

<sup>3</sup> Вроцлавський технічний університет,  
кафедра прогресивних технологій матеріалів

<sup>4</sup> Національний університет харчових технологій  
кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв  
serhii.v.pyshiev@lpnu.ua

## ВИКОРИСТАННЯ КАРБОНІЗОВАНОГО ЗАЛИШКУ ПРОЦЕСУ ПІРОЛІЗУ ВЖИВАНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН ЯК МОДИФІКАТОРА ДОРОЖНІХ БІТУМІВ

<https://doi.org/10.23939/ctas2024.01.086>

Проаналізовано можливості утилізації твердого карбонізованого залишку (КЗ) процесу піролізу вживаних автомобільних шин (ВАШ). В результаті процесу піролізу ВАШ одержують близько 36 % карбонізованого залишку, який може слугувати адгезійною та/або модифікувальною добавкою в процесах модифікування нафтових бітумів. Здійснено аналізи КЗ та бітуму марки БНД 70/100, одержаних на малотоннажній промисловій установці та ПАТ "Укртатнафта", відповідно. Встановлено вплив карбонізованого залишку на експлуатаційні властивості модифікованих бітумів за різного співвідношення сировина (БНД 70/100) : КЗ. Відповідно до одержаних результатів запропоновано оптимальні кількості КЗ для модифікування нафтових бітумів та визначено напрями подальших досліджень.

**Ключові слова:** відпрацьовані шини; піроліз; карбонізований залишок; модифікування бітумів; адгезійна добавка.

### Вступ

З огляду на виснаження світових запасів нафти, використання альтернативних джерел енергії стає актуальним питанням сьогодення. Нафтопереробна промисловість поступово адаптується до дешевшої та важчої сировини через виснаження дорогої та легкої нафти, що спонукає до поступового переходу на нетрадиційні види сировини, такі як відходи та біомаса [1]. Варто зауважити, що повторне використання промислових відходів (відпрацьованих шин, олив, пластику тощо) для виробництва енергоресурсів дає змогу зменшити негативний вплив на довкілля [1–3]. Вживані автомобільні шини (ВАШ) вважають найпоширенішими твердими відходами у світі, які утворюються в результаті експлуатації транспортних засобів.

Майже 1,5 мільярда ВАШ викидають після закінчення терміну їх експлуатації щороку, простежується тенденція до зростання і ця цифра може становити 5 мільярдів до кінця 2030 р. Наприклад, за оцінками [6], щороку в Китаї викидають 210 мільйонів тонн ВАШ, їх утилізація стала серйозною екологічною проблемою. В ЄС близько 18 % від загальної кількості вживаних шин було утилізовано або повторно використано, 38 % – перероблено, а 40 % – використано для виробництва енергії [6]. Загальну середню кількість ВАШ, що утворюється щорічно, наведено на рис. 1.

Шини переважно викидають на звалища, спалюють або складують, що спричиняє різні екологічні проблеми, такі як забруднення ґрунту і повітря, а також утворення шкідливих речовин

[4]. Тому важливо створити екологічно чистий спосіб утилізації ВАШ. Крім того, вживані шини не розкладаються в природному середовищі до 100 років [5]. Основні компоненти шин – гума, наповнювачі, сажа, сталь, сірка, оксид цинку, технологічні оливи та прискорювачі вулканізації.

Загалом, утилізація використаних шин та інших продуктів на основі поліізопрену є проблематичною [5]. Поводження з відповідними відходами передбачає збирання, транспортування, переробку та утилізацію (ураховуючи захоронення) [5].

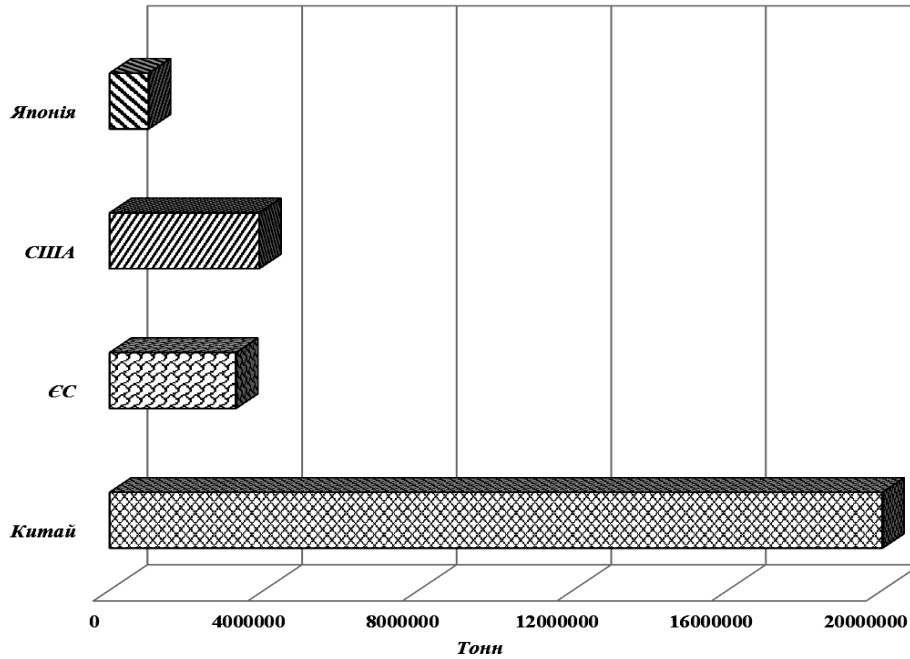


Рис. 1. Щорічне утворення відпрацьованих шин у деяких країнах світу

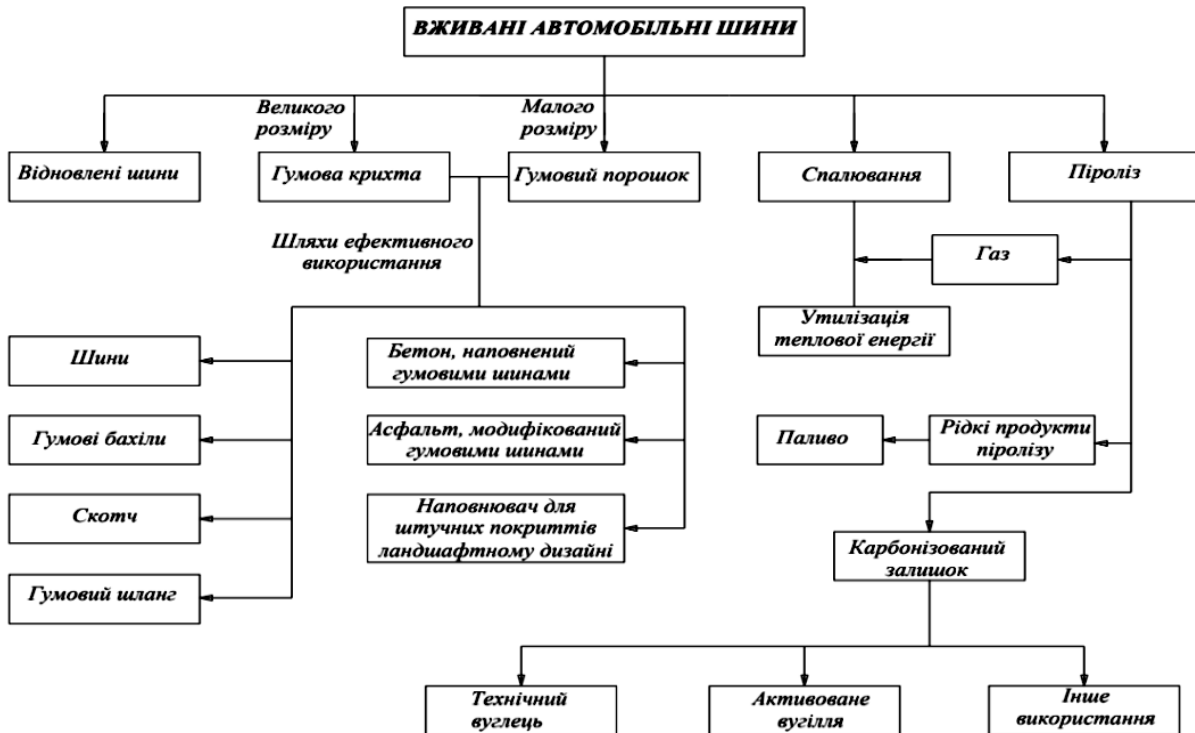


Рис. 2. Методи утилізації відпрацьованих шин та поширені сфери їх застосування

До основних способів утилізації/переробки ВАШ можна зарахувати захоронення на полігонах, повторне використання, спалювання, використання сировини процесу піролізу, виробництва сажі та застосування у цивільному будівництві [6].

Частину вживаних шин використовують для виробництва модифікованих бітумів [7, 8]. Водночас висока енергоємність ВАШ спонукала до їх повторного використання в різноманітних галузях промисловості. Газифікація [9], спалювання [10] і піроліз [11, 12] ВАШ дають змогу максимізувати застосування ресурсів і зменшити залежність від традиційних видів ископного палива. Методи утилізації відпрацьованих шин та їх поширені сфери застосування подано на рис. 2.

Процес піролізу (термічний процес, який відбувається за високих температур без доступу кисню або ж з його мінімальною кількістю) є одним із найпоширеніших методів переробки вживаних шин, з метою одержання палива та хімічної сировини [3, 13, 14]. У ході цього процесу утворюється 33–39 % мас. твердого (карбонізованого) залишку (КЗ), 34–45 % мас. рідких продуктів, решта – гази. КЗ, фактично, є побічним продуктом процесу піролізу ВАШ. До його складу входять сажа (80–90 %) та неорганічні речовини (10–20 %), які завжди наявні у гумових сумішах, використовуваних у виробництві шин.

Отже, 36 % твердого (карбонізованого) залишку процесу піролізу ВАШ можна спрямувати на подальші процеси з метою виробництва технічного вуглецю, активованого вугілля тощо [3, 13, 14]. Є також інформація про застосування карбонізованого залишку як нафтоадсорбувального матеріалу, ізолятора та компонента бетону [15].

Глибоко карбонізований активований залишок (ГКАЗ) глибокого подрібнення також був випробуваний як наповнювач для підвищення термостійкості бітуму. Встановлено, що додавання карбонізованого залишку позитивно впливає на реологічні властивості бітуму та його старіння [16].

Також для модифікування бітумів або часткової їх заміни запропоновано використовувати легкокарбонізовану гуму, оскільки додавання до бітумів такого твердого продукту

зазвичай покращує його низькотемпературні властивості [17].

Однак не зрозуміло, як КЗ, отриманий за порівняно невисоких температур, який не зазнав модифікації, впливає на експлуатаційні властивості бітуму (передусім адгезійні властивості, стабільність під час зберігання і старіння). Окрім того, у [16] використовували ГКАЗ глибокого помелу, що під час реалізації в промисловості може спричинити технологічні та економічні труднощі (одержання продукту глибокого подрібнення та його використання потребують застосування дороговартісного обладнання).

Тому **метою цієї роботи** було визначення можливості використання карбонізованого залишку як адгезійної та/або стабілізуючої добавки до дорожніх бітумів. Карбонізований залишок отримують на типовій установці піролізу шин, що працює з метою одержання рідких та газоподібних продуктів піролізу, і він не є цільовим продуктом

Для досягнення мети досліджень виконано такі завдання:

- одержання, аналіз та подрібнення КЗ;
- взяття проби бітуму та її аналіз;
- модифікування бітуму КЗ, який додається у “типових” для адгезійних та стабілізуючих додатків кількостях у бітуми (0–5 % мас. на сировину);
- визначення реологічних та адгезійних властивостей модифікованих бітумів і їх схильності до старіння).

#### **Матеріали та методи досліджень**

Карбонізований залишок процесу піролізу ВАШ одержано на малотоннажній промисловій установці згідно із методикою, описаною у [3]. Характеристики властивостей КЗ подано у табл. 1.

Визначення якісних характеристик вихідного та модифікованих бітумів здійснювали згідно із методиками, наведеними у відповідних нормативних документах:

- зчеплюваність із поверхнею скла [24];
- температура розм'якшення [25];
- глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С [26];
- розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С [27];

- зчеплюваність із поверхнею щебеню [28];
- еластичність за температури 25 °С [29];
- зміна властивостей після прогрівання за методом RTFOT [30].

Як сировину для процесу модифікування бітумів використовували окиснений нафтовий бітум БНД 70/100, взятий на ПАТ “Укртатнафта” (Кременчуцький НПЗ). Його основні характеристики подано в табл. 2.

Таблиця 1

**Характеристика карбонізованого залишку, одержаного в результаті піролізу ВАШ**

№ з/п	Показник	Одиниця вимірюв.	Результати досліджень	Методи і стандарти внутрішніх лабораторій
1	Загальна вологість	% мас.	1,8±0,2	[18]
2	Зольність	% мас.	9,6±0,2	[19]
3	Вихід летких речовин: – на сухий стан – на сухий беззольний стан	% мас.	2,9±0,2 3,2±0,2	[20]
4	Загальний вміст сірки на сухий стан	% мас.	2,09±0,05	[21]
5	Нижча теплота згоряння, сухий стан	кДж/кг	30297±146	[22]
6	Нижча теплота згоряння, на робочий стан	кДж/кг	29707±146	[22]
7	Вміст вуглецю на сухий стан	% мас.	86,56±0,15	[23]

Таблиця 2

**Характеристики вихідного окисненого бітуму марки БНД 70/100**

Показник	БНД 70/100	Вимоги до бітуму марки БНД 70/100 [31]
Зчеплюваність із поверхнею скла, %	54	≥ 18
Температура розм'якшеності, °С	51	45–51
Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, 0,1 мм	76	71–100
Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, м·10 <sup>-2</sup> (см)	66	≥ 60
Зчеплюваність із поверхнею щебеню, бал	3,5	–
Еластичність за температури 25 °С, %	17,5	–
Старіння за методом RTFOT:		
Температура розм'якшеності, °С	60	–
Зміна температури розм'якшеності, °С	9	–
Зміна маси після прогрівання, %	0,09	–
Залишкова пенетрація, %	48,68	–
Пенетрація за температури 25 °С, 0,1 мм	37	–

Модифікування вихідного окисненого бітуму марки БНД 70/100 здійснювали на лабораторній установці із додаванням КЗ як модифікатора за такою методикою:

- нагрівання заданої кількості бітуму до температури модифікування 175 °С (± 5 °С);
- вмикання перемішування та фіксація сталої кількості обертів мішалки,  $N = 1000$  об./хв;

- додавання заданої кількості модифікатора (КЗ) до нагрітого бітуму, фіксація початку процесу;
- тривалість процесу модифікування,  $\tau = 3,0$  год;
- вимикання нагрівання і перемішування після фіксації закінчення процесу;

– виконання якісного аналізу модифікованого бітуму.

Умови модифікування вибрано на основі [32].

Визначивши якісні показники отриманого продукту, робили висновок про його відповід-

ність вимогам нормативних документів у галузі бітумних дорожніх будівельних матеріалів.

Загальну послідовність модифікування вихідного окисненого бітуму у вигляді блок-схеми подано на рис. 3.

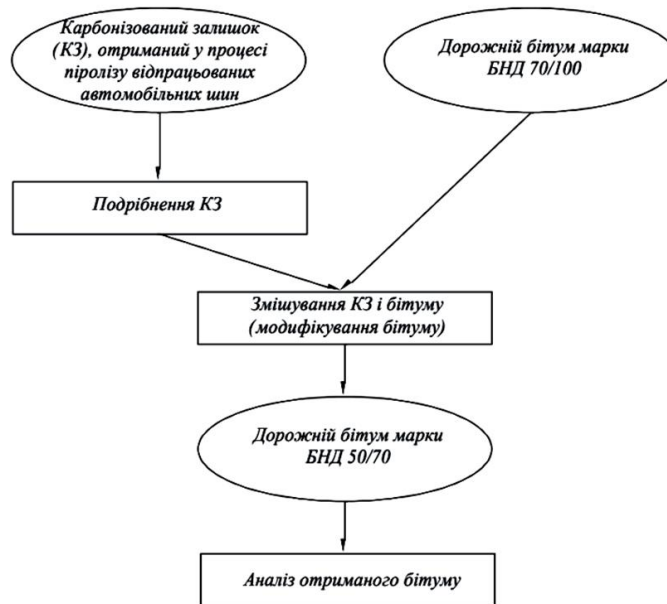


Рис. 3. Схема модифікування вихідного окисненого бітуму карбонізованим залишком

### Результати досліджень та їх обговорення

Згідно із методикою, що подана вище, здійснено модифікування вихідного окисненого бітуму марки БНД 70/100 із використанням як адгезійної добавки КЗ за різного співвідношення сировина : модифікатор.

Дослідження зміни властивостей після прогрівання вихідного окисненого бітуму марки БНД 70/100 та зразків бітумів, отриманих під час їх модифікування карбонізованим залишком здійснювали за методом RTFOT.

Результати досліджень подано нижче на рис. 4–6, а також у табл. 3 та 4.

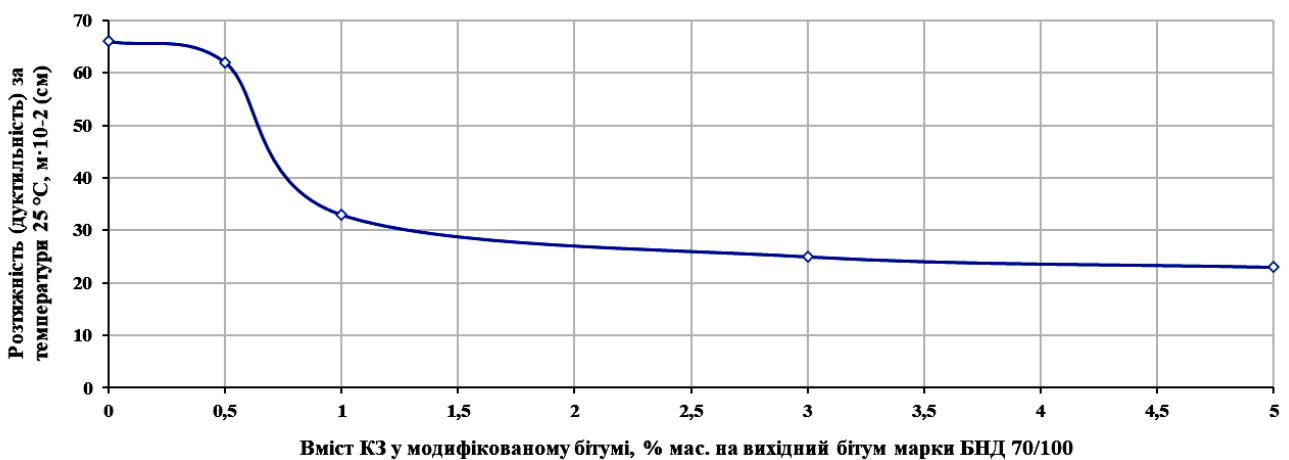


Рис. 4. Залежність глибини проникності голки вихідного бітуму від кількості КЗ, % мас. на сировину (згідно із вимогами [31, 33], глибина проникності голки за 25 °С становить 50–70 (0,1 мм))

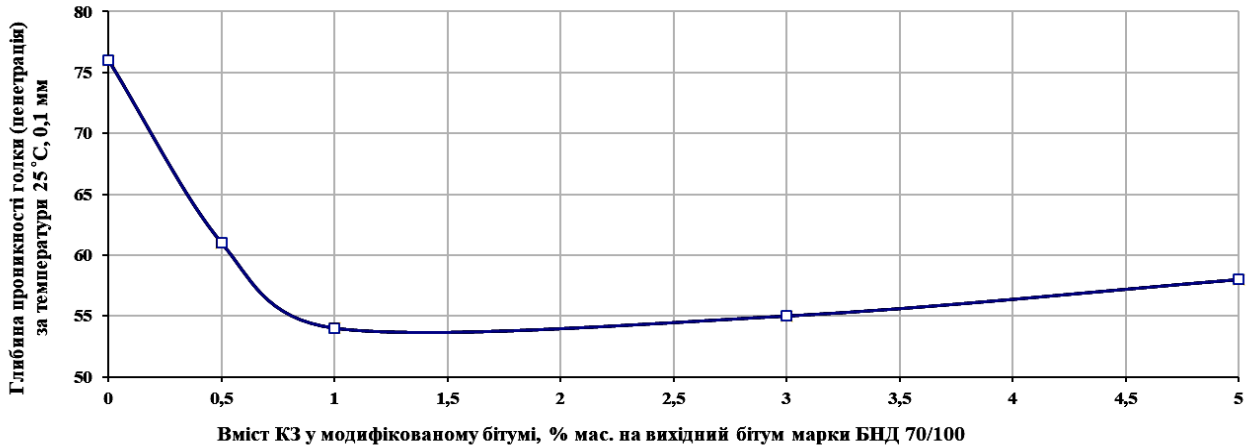


Рис. 5. Залежність температури розм'якшеності вихідного бітуму від кількості КЗ, % мас. на сировину (за вимогами [31, 33] значення температури розм'якшеності становить 49–55 °С)

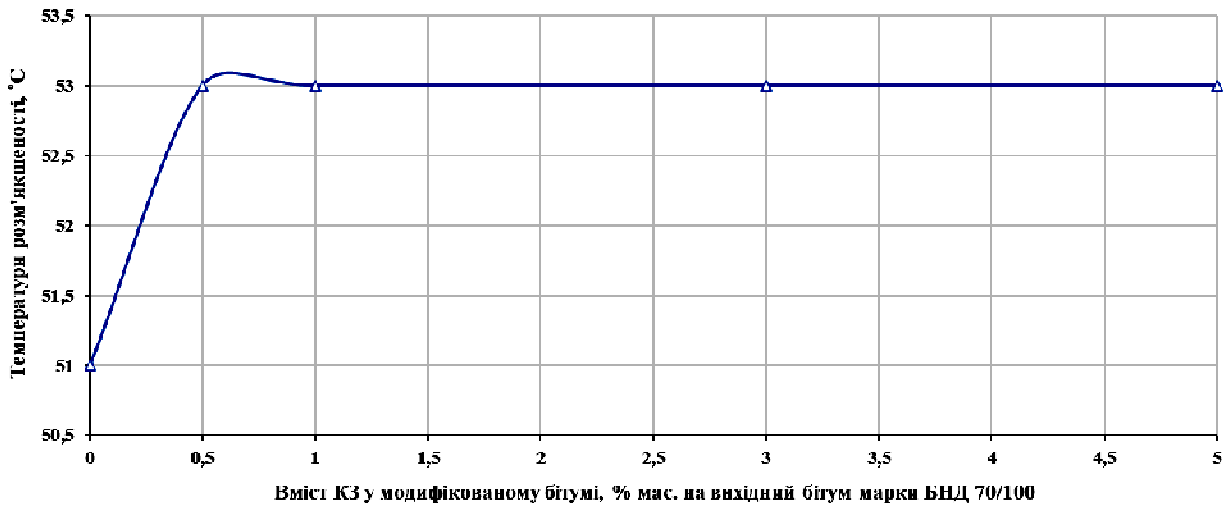


Рис. 6. Залежність розтяжності (дуктильності) вихідного бітуму від кількості КЗ, % мас. на сировину (за вимогами [31, 33] розтяжність (дуктильність) за 25 °С становить  $\geq 50 \cdot 10^{-2}$  (см))

Таблиця 3

**Адгезійні та когезійні властивості бітумів, одержаних у результаті їх модифікування КЗ**

Показник	Вихідний бітум марки БНД 70/100	Вміст КЗ у модифікованому бітумі, % мас. на вихідний бітум марки БНД 70/100				Вимоги до бітуму марки	
		0,5	1,0	3,0	5,0	БНД 50/70 [31]	БНДА 40/60 [33]
Зчеплюваність із поверхнею скла, %	54	62	68	75	85	$\geq 25$	$\geq 75$
Еластичність за температури 25 °С, %	17,5	18,0	20,3	19,9	16,5	–	–
Зчеплюваність із поверхнею щебеню, бал	3,5	4,0	4,0	5,0	5,0	–	$\geq 5,0$

На основі отриманих результатів (рис. 4–6) можна зробити висновок, що зі зростанням кількості карбонізованого залишку знижуються значення пластичності бітумів (еластичності за вмісту КЗ 5 % мас.), глибини проникності голки та розтяжності). Водночас відбувається зростання показників температури розм'якшеності, еластичності (за вмісту КЗ 0,5–3 % мас.) та зчеплюваності із поверхнею скла модифікованих бітумів порівняно із вихідним бітумом. Встановлено, що в результаті модифікування бітуму карбонізованим залишком у кількості 0,5 % мас. на сировину одержують бітум марки БНД 50/70 (згідно із [32]), термостійкість якого вища, аніж вихідного бітуму марки БНД 70/100.

Як зазначено вище в табл. 3, в одержаних модифікованих бітумах зі зростанням кількості КЗ збільшуються значення показників зчеплюваності з поверхнею скла та щебенем. І за цими показниками бітум відповідає вимогам до марки БНДА 40/60 відповідно до [33]. Проте водночас відбувається різке зниження розтяжності (дуктильності) модифікованих бітумів порівняно із вихідним бітумом. Отже, використання 5 % мас. КЗ на сировину дасть змогу утилізувати твердий залишок піролізу шин, який має дуже обмежене застосування, та покращити адгезійні властивості цього в'язучого. Але для поліпшення пластичних властивостей бітумів необхідно вивчати можливість застосування пластифікаторів.

Таблиця 4

**Зміна властивостей бітумів, одержаних у результаті їх модифікування КЗ після прогрівання**

Показник		Вихідний бітум марки БНД 70/100	Вміст КЗ у модифікованому бітумі, % мас. на вихідний бітум марки БНД 70/100				Вимоги до бітуму марки	
			0,5	1,0	3,0	5,0	БНД 50/70 [31]	БНДА 40/60 [33]
Старіння за методом RTFOT, [29]	Температура розм'якшеності, °С	60	60	61	61	61	–	–
	Зміна температури розм'якшеності, °С	9	7	8	8	8	–	–
	Зміна маси після прогрівання, %	0,09	0,05	0,04	0,04	0,04	–	–
	Залишкова пенетрація, %	48,7	62,3	74,1	72,7	77,6	–	–
	Пенетрація за температури 25 °С, 0,1 мм	37	38	40	40	45	–	–

Проаналізувавши стабільність вихідного і модифікованого бітуму (зміну їх властивостей після прогрівання, див. табл. 4), можна стверджувати, що використання КЗ позитивно впливає на зміну маси, пенетрацію, залишкову пенетрацію та зміну температури розм'якшеності, тобто покращує здатність бітуму опиратися старінню.

Загалом, отримані результати добре корелюють із дослідженнями стосовно використання схожих типів сировини (глибоко і слабокарбонізованого твердих залишків, отриманих у ході піролізу відпрацьованих автомобільних шин), застосованої для модифікування бітумів [16, 17]. Тенденція впливу на властивості бітумів (збільшення температури розм'якшення, покращення опірності старінню та часткове погіршення

пластичності модифікованих бітумів) використаного в ході досліджень КЗ найбільше подібна на вплив на властивості бітумів ГКАЗ [16, 17].

**Висновки**

Досліджено вплив використання карбонізованого залишку, одержаного в ході піролізу автомобільних шин, як адгезійної та/або модифікувальної добавки на експлуатаційні властивості вихідного бітуму марки БНД 70/100. Карбонізований залишок набагато дешевший і екологічно чистіший, ніж полімерні модифікатори, відповідно це забезпечує економічні та екологічні переваги під час будівництва асфальтобетонних покриттів.

Встановлено, що зі зростанням кількості карбонізованого залишку в модифікованих бітумах відбувається зниження значень показників глибини проникності голки та розтяжності, водночас зростають показники температури розм'якшеності, еластичності (до вмісту КЗ 3 % мас.) та зчеплюваності із поверхнями скла і щебеню. Застосування КЗ дещо сповільнює старіння бітумів.

Оптимальна кількість карбонізованого залишку в процесах модифікування бітумів становить 0,5 % мас. на вихідну сировину, що дає змогу отримати бітум марки БНД 50/70 і забезпечує певну екологічну та економічну ефективність порівняно із іншими промисловими добавками. Водночас виявлено позитивний вплив додавання КЗ у кількості 3,0 та 5,0 % мас. на сировину, що покращує адгезійні властивості бітумів до значень, встановлених нормативними документами для бітуму марки БНДА 40/60. Проте, щоб отримати бітуми, які повністю відповідають вимогам нормативних документів, у цьому випадку необхідно використовувати пластифікатори для покращення, передусім, дуктильності модифікованого бітуму, що буде темою подальших досліджень.

### References

1. Hita, I., Arabiourrutia, M., Olazar, M., Bilbao, J., Arandes, J. M., Castaño, P. (2016). Opportunities and barriers for producing high quality fuels from the pyrolysis of scrap tires. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 56, 745–759. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.081>.
2. Song, W., Zhou, J., Li, Y., Li, Sh., Yang, J. (2021). Utilization of waste tire powder for gaseous fuel generation via CO<sub>2</sub> gasification using waste heat in converter vaporization cooling flue. *Renew. Energy.*, 173, 283–296. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.090>
3. Pyshyev, S., Lypko, Y., Chervinsky, T., Fedevych, O., Kułazyński, M., Pstrowska, K. (2023). Application of tyre derived pyrolysis oil as a fuel component. *S. Afr. J. Chem. Eng.*, 43, 342–347. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.12.003>
4. Moasas, A. M., Amin, M. N., Khan, K., Ahmad, W., Al-Hashem, M. N. A., Deifalla, A. F., Ahmad, A. (2022). *Case Stud. Constr. Mater.*, 17, 2214–5095. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01677>
5. Przydatek, G., Budzik, G. & Janik, M. (2022). Effectiveness of selected issues related to used tyre management in Poland. *Environ Sci Pollut Res.*, 29, 31467–31475. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18494-7>
6. Han, J., Li, W., Liu, D., Qin, L., Chen, W., Xing, F. (2018). Pyrolysis characteristic and mechanism of waste tyre: A thermogravimetry-mass spectrometry analysis. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.*, 129, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.12.016>
7. Nagursky, A., Khlibyshyn, Y., Grynshyn, O. (2017). Bitumen compositions for cold applied roofing products. *Chem. Chem. Tech.*, 11(2), 226–229. <https://doi.org/10.23939/chcht11.02.226>
8. Nagursky, A., Khlibyshyn, Y., Grynshyn, O., Kochubei, V. (2020). Rubber Crumb Modified Bitumen Produced from Crude Oil Residuals of Ukrainian Deposits. *Chem. Chem. Tech.* 14(4), 420–425. <https://doi.org/10.23939/chcht14.03.420>
9. Oboirien, B. O., North B. C. (2017). A review of waste tyre gasification. *J. Environ. Chem. Eng.*, 5, 5169–5178. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.057>
10. Xi-Shan, T., Wei-Hua, Z., Dong-Qing, L.I. (2006). Combustion characteristics of the waste tire by thermogravimetric analysis. *J. Nanjing Univ. Technol.* 28, 85–88. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7627.2006.02.020>
11. Williams, P. T. (2013). Pyrolysis of waste tyres: a review. *Waste Manag.*, 33, 1714–1728. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.003>
12. Martinez, J. D., Puy, N., Murillo, R., Garcia, T., Navarro, M. V., Mastral, A. M. (2013). Waste tyre pyrolysis – a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 23, 179–213. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.038>
13. Zhang, X., Tang, J., Chen, J. Behavior of sulfur during pyrolysis of waste tires: A critical review. *J. Energy Inst.*, 102, 302–314 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.joei.2022.04.006>
14. Arabiourrutia, M., Lopez, G., Artetxe, M., Alvarez, J., Bilbao, J., Olazar, M. (2020). Waste tyre valorization by catalytic pyrolysis – a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 129, 109932. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109932>
15. Sagar, M., Nibedita, K., Manohar, N., Raj Kumar, K., Suchismita, S., Pradnyesh, A., Babul Reddy, A., Rotimi Sadiku, E., Gupta, U.N., Lachi, P., Jayaramudu, J. (2018). A potential utilization of end-of-life tyres as recycled carbon black in EPDM rubber. *Waste Management.* 74, 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.003>
16. Feng, Z., Rao, W., Chen, Ch., Tian, B., Li, X., Li, P., Guo, Q. (2016). Performance evaluation of bitumen modified with pyrolysis carbon black made from waste tyres. *Constr. Build. Mater.*, 111, 495–501. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.143>
17. Wu X., Wang Sh., Dong R. (2016). Lightly pyrolyzed tire rubber used as potential asphalt alternative. *Constr. Build. Mater.*, 112, 623–628. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.208>



18. DSTU ISO 589:2015 (2015). Hard coal – Determination of total moisture (ISO 589:2008, IDT) [Valid from 01.01.2016].
19. ISO 1171:1997 Solid mineral fuels – Determination of ash.
20. DSTU ISO 562:2015 (2015). Hard coal and coke – Determination of volatile matter (ISO 562:2010, IDT) [Valid from 01.01.2016].
21. ISO 351:1996 (1996). Solid mineral fuels – Determination of total sulfur – High temperature combustion method.
22. DSTU ISO 1928:2006 (2006). Solid mineral fuels. Determination of gross calorific value by the bomb calorimetric method, and calculation of net calorific value (ISO 1928:1995, IDT). [Valid from 01.07.2008].
23. ISO 625:1996 (1996). Solid mineral fuels – Determination of carbon and hydrogen – Liebig method.
24. DSTU 9169:2021 (2021). Bitumen and bituminous binders determination of resistance to stripping from mineral material [Valid from 01.08.2022].
25. EN 1427:2015 (2015). Bitumen and bituminous binders – Determination of the softening point – Ring and Ball method) [Valid from 01.06.2019].
26. EN 1426:2015 (2015). Bitumen and bituminous binders – Determination of needle penetration) [Valid from 01.06.2019].
27. DSTU 8825:2019 (2015). Bitumen and bitumen binders. Determination of tensile strength [Valid from 01.01.2020].
28. DSTU 8787:2018 (2018). Bitumen and bituminous binders. Method for determining adhesion to crushed stone [Valid from 01.06.2019].
29. ДСТУ EN 13398:2018 (2018). Bitumen and bituminous binders. Determination of the elasticity (EN 13398:2017, IDT) [Valid from 01.12.2019].
30. DSTU Б EN 12607-1:2015 (2015). Bitumen and bituminous binders. Determination of the resistance to hardening under influence of heat and air. Part 1. RTFOT method (EN 12607-1:2014, IDT) [Valid from 01.07.2016].
31. DSTU 4044:2019 (2015). Bitumens petroleum. Specifications [Valid from 01.05.2020].
32. Prysiaznyi, Y., Borbeyiyong, G. I., Pyshyev, S. (2022). Preparation and Application of Coumarone-Indene-Carbazole Resin as a Modifier of Road Petroleum Bitumen. 1. Influence of Carbazole:Raw Materials Ratio. *Chem. Chem. Tech.*, 16(2), 284–294. <https://doi.org/10.23939/chcht16.02.284>
33. SOU 45.2-00018112-067:2011. Road bitumen, modified with adhesive additives. Specifications. Change No. 1 [Valid from 01.09.2011].

S. V. Pyshyev<sup>1</sup>, O. M. Kukhar<sup>1</sup>, Yu. V. Prysiaznyi<sup>1</sup>, B. O. Korchak<sup>2</sup>,  
M. V. Nivkevych<sup>1</sup>, H. Faltynowicz<sup>3</sup>, I. V. Zhytnetskyi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University,  
Department of Chemical technology of Oil and Gas Processing

<sup>2</sup>Lviv Polytechnic National University,  
Department of Civil Security

<sup>3</sup>Wroclaw University of Science and Technology,  
Department of Advanced Materials Technology

<sup>4</sup>National University Of Food Technologies,  
Department of Machines and Apparatuses for Food and Pharmaceutical Productions

#### USE OF CARBONIZED RESIDUE FROM THE PYROLYSIS PROCESS OF WASTE TIRES AS A MODIFIER OF ROAD BITUMEN

The paper analyzes the possibility of utilizing the solid carbonized residue (SCR) from the pyrolysis of waste tires (WT). The pyrolysis process of waste tires produces about 36 % of carbonized residue, which can serve as an adhesive and/or modifying additive in the processes of modifying petroleum bitumen. We analyzed the SCP and BND 70/100 bitumen produced at a small-scale industrial unit and PJSC Ukrtatnafta, respectively. The influence of solid carbonized residue on the performance properties of modified bitumen at different ratios of raw materials (BND 70/100) : SCR. According to the results obtained, the optimal amounts of SCR for modifying petroleum bitumen were proposed and directions for further research were determined.

**Key words:** waste tires; pyrolysis; carbon black; bitumen modifier; adhesive additive.