

*Т.І. ЧЕРВІНСЬКИЙ, Р.І. ПРОКОП, О.Б. ГРИНИШИН**

ВИКОРИСТАННЯ КАРБАМІДУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИ НАПІВСИНТЕТИЧНИХ МОТОРНИХ ОЛИВ

Під час експлуатації автотранспортних засобів з бензиновими чи дизельними двигунами внутрішнього згорання, моторна олива зазнає впливу високих температур, постійно контактує з металами, її вуглеводнева частина зазнає хімічних перетворень, забруднюється продуктами зносу металевих поверхонь, розкладу присадок, залишками неповноти згорання палива. В результаті цього моторна олива зазнає незворотних змін її якісного хімічного складу й втрати експлуатаційних властивостей. У роботі описано результати з вивчення процесу очищення відпрацьованих напівсинтетичних моторних олив кристалічним карбамідом. Як відпрацьовані напівсинтетичні моторні оливи було вибрано оливу марки Castrol 10W-40, яка використовується у дизельних двигунах вантажних автомобілів та оливу марки ELF Evolution 700 STI, яка використовується у бензинових двигунах легкових автомобілів. Вивчено вплив основних чинників керування процесом (кількості карбаміду, тривалості й температури) на зміну експлуатаційних властивостей очищених моторних олив. Встановлено, що найнижчі значення бракувальних показників (кислотне число, вміст води, зольність, вміст механічних домішок) були отримані за 140 °С, тривалості 80 хв. та 5 % мас. кристалічного карбаміду. Окрім цього, відбувається незначне зростання значень кінематичної в'язкості та індексу в'язкості. Методом рентгенофлуоресцентного аналізу підтверджено, що в очищених карбамідом оливах, порівняно з відпрацьованими, зменшився вміст металів. ІЧ-спектроскопічним дослідженням підтверджено, що за встановлених оптимальних умов процесу очищення кристалічним карбамідом в очищених напівсинтетичних моторних оливах значно зменшився вміст кисневмісних продуктів «старіння» (альдегідів, кетонів, спиртів, етерів, естерів, органічних кислот). Запропоновано процес очищення відпрацьованих моторних напівсинтетичних олив у присутності кристалічного карбаміду використовувати як проміжну стадію комбінованого технологічного циклу регенерації відпрацьованих моторних олив.

Ключові слова: напівсинтетична моторна олива; відпрацьована олива; карбамід; старіння оливи; рентгенофлуоресцентний аналіз; ІЧ-спектри

*T. CHERVINSKYI, R. PROCOP, O. GRYNISHYN**

USE OF UREA FOR CLEANING USED SEMI-SYNTHETIC MOTOR OILS

During the operation of motor vehicles with gasoline or diesel internal combustion engines, motor oil is exposed to high temperatures, is constantly in contact with metals, its hydrocarbon part undergoes chemical transformations, is contaminated by wear products of metal surfaces, decomposition of additives, and residues of incomplete combustion of fuel. As a result, motor oil undergoes irreversible changes in its high-quality chemical composition and loss of operational properties. The paper describes the results of the study of the process of cleaning exhausted semi-synthetic motor oils in the presence of crystalline urea. Castrol 10W-40 oil, widely used in truck diesel engines, and ELF Evolution 700 STI oil, used in passenger car gasoline engines, were chosen as used semi-synthetic motor oils. The influence of the main factors of process control (the amount of urea, duration, and temperature) on the change in the functional properties of refined motor oils was studied. It was established that the lowest values of defective indicators (acid number, water content, ash content, content of mechanical impurities) were obtained at 140 °C, duration of 80 min., and 5 mass. % of crystalline urea. In addition, there is a slight increase in the values of kinematic viscosity and viscosity index. The method of X-ray fluorescence analysis confirmed that the content of metals decreased in urea-treated oils compared to used ones. IR spectroscopic research demonstrated that under the established optimal conditions of the purification process with crystalline urea, the content of oxygen-containing "aging" products (aldehydes, ketones, alcohols, ethers, esters, organic acids) in purified semi-synthetic motor oils significantly decreased. It is proposed to use the process of cleaning used semi-synthetic motor oils in the presence of crystalline urea as an intermediate stage of the combined technological cycle of regeneration of used motor oils.

Keywords: semi-synthetic motor oil; exhausted oil; urea; oil aging; X-ray fluorescence analysis; IR spectrum

*Т.И. ЧЕРВИНСКИЙ, Р.И. ПРОКОП, О.Б. ГРИНИШИН**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРБАМИДА ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННЫХ ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

При эксплуатации автотранспортных средств с бензиновыми или дизельными двигателями внутреннего сгорания, моторное масло испытывает влияние высоких температур, постоянно контактирует с металлами, его углеводородная часть испытывает химические превращения, загрязняется продуктами износа металлических поверхностей, разложения присадок, остатками неполноты сгорания топлива. В результате этого моторное масло претерпевает необратимые изменения его качественного химического состава и потери эксплуатационных свойств. В работе описаны результаты изучения процесса очистки отработанных полусинтетических моторных масел кристаллическим карбамидом.

Ключевые слова: полусинтетическое моторное масло; отработанное масло; карбамид; старение масла; рентгенофлуоресцентный анализ; ИК-спектры.

Вступ

Україна має багаторічну історію видобутку та переробки нафти, природного газу та вугілля. Вищезазначена сировина слугує для одержання продуктів органічного синтезу. Причому нафта є джерелом одержання товарних олив, які знаходять застосування при експлуатації різноманітних механізмів [1-5].

Як відомо, за останнє десятиліття Україна збільшила споживання товарних олив. Оскільки більшу кількість мастильних матеріалів Україна імпортує, важливим є збір та вторинна переробка відпрацьованих мастильних матеріалів. В Україні щорічно накопичуються чималі об'єми відпрацьованих мастильних матеріалів, поводження з якими є однією з найгостріших екологічних проблем, через недостатньо розвинену систему збору та майже не розвинуті потужності з їхньої регенерації чи утилізації [6].

Внаслідок експлуатації автотранспортних засобів з бензиновими, чи дизельними двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ), моторна олива піддається безперервному впливу високих температур, постійному контакту з металами, перебігу хімічних процесів (окиснення, термічного розкладу, полімеризації, поліконденсації, ущільнення, тощо), зовнішніх забрудників, каталізаторів (продуктів зносу металевих поверхонь) тощо [7-10]. В результаті цього, у її складі накопичуються продукти розкладу присадок та зношення деталей ДВЗ, продукти окиснення, ущільнення вуглеводневої частини, асфальто-смолисті речовини (АСР), залишки неповноти згорання палива, що спричиняє незворотні зміни її якісного хімічного складу. Численними дослідженнями провідних вчених та наукових організацій встановлено, що хімічний склад моторних олив в процесі їх експлуатації у ДВЗ змінюється незначно, продукти фізико-хімічних перетворень компонентів олив, а також домішки, що потрапляють ззовні та роблять оливи непридатними для подальшої експлуатації, становлять незначну частину від їх загальної маси ~20-25 %, водночас до 75-80 % вуглеводневої складової моторної оливи залишаються незмінними. Завдяки процесам вилучення продуктів старіння з відпрацьованих моторних олив (ВМО) отримують оливи, яка за своїми експлуатаційними властивостями відповідають свіжій оливі, одержаній з нафтової сировини. Тому актуальним є розроблення таких технологій регенерації відпрацьованих олив, які б характеризувались високим виходом регенованої оливи та здатністю їх налагодження на вітчизняних

підприємствах без значної модернізації наявного устаткування [11-14].

У нафтопереробній промисловості для покращення низькотемпературних властивостей палив та олив використовується процес депарафінізації з використанням карбаміду з метою видалення з них n-парафінових вуглеводнів. Комплексотворна здатність карбаміду надихнула дослідників та вчених на можливість його використання у технології очищення ВМО.

Раніше у роботі [15] авторами було встановлено принципову можливість очищення сумішей відпрацьованих олив у присутності карбаміду та встановлено зміну експлуатаційних характеристик очищених олив. Запропонований метод, як зазначили автори, не може мати самостійного застосування, але лише як проміжна стадія комбінованого процесу очищення мінеральних олив. Однак, для відпрацьованих напівсинтетичних моторних олив цей метод не був вивчений.

Мета роботи

Встановити можливість використання кристалічного карбаміду для очищення відпрацьованих напівсинтетичних моторних олив (НПСО) від кисневмісних продуктів старіння, які б характеризувались нижчим значенням кислотного числа, відсутністю води та кращим значенням в'язкісно-температурних властивостей.

Виклад основного матеріалу

У роботі вихідними об'єктами досліджень було обрано найбільш доступні та найбільш широко вживані моторні оливи. Як відпрацьовані напівсинтетичні моторні оливи було вибрано оливу марки Castrol 10W-40, яка використовується у дизельних двигунах вантажних автомобілів та відпрацьовану напівсинтетичну моторну оливу марки ELF Evolution 700 STI, яка використовується у бензинових двигунах легкових автомобілів. Вище зазначені відпрацьовані моторні оливи були вилучені з картерів бензинового та дизельного ДВЗ після закінчення нормативного терміну їх експлуатації.

Густини вище зазначених олив визначали пікнометричним методом, показник заломлення – за допомогою рефрактометра, в'язкість – віскозиметричним методом, кислотні числа (КЧ) визначали потенціометричним титруванням, вміст води та зольність – за стандартизованими методиками [16].

Рентгенофлуоресцентний спектральний аналіз для визначення елементного складу оливи здійснювали на мобільному прецизійному аналізаторі EXPERT 3L, що призначений для визначення масової частки хімічних елементів в однорідних монолітних та порошкоподібних об'єктах [17].

ІЧ-спектроскопічні дослідження відпрацьованої й очищеної оливи здійснювали на приладі Spectrum Two FT-IR spectrometer фірми Perkin Elmer в кюветі з селеніду цинку товщиною 0,1036 мм. з допомогою програми Spectrumv.10.03.06.

Очищення ВМО кристалічним карбамідом здійснювали на лабораторній установці. У ємність, обладнану механічним перемішуванням, термометром та дозатором для подачі реагенту, завантажували відпрацьовану моторну оливу, після чого її нагрівали до температури процесу та після її досягнення через дозатор при безперервному перемішуванні додавали кристалічний карбамід через певні однакові проміжки часу рівними порціями. Після додавання останньої порції карбаміду процес здійснювали за раніше встановленої температури та тривалості. Після закінчення процесу реакційну суміш охолоджували й переносили у ділильну воронку для відстоювання, після чого нижній шар осаду вилучали, а верхній шар очищеної оливи подавали на фільтрування.

Обговорення результатів

Для розроблення методики очищення ВМО у присутності кристалічного карбаміду необхідно вивчити вплив основних чинників керування процесом: кількості реагенту, температури та тривалості процесу, на основні експлуатаційні властивості очищених моторних оливи. Отримані результати проведених досліджень подано у табл. 1-3.

Таблиця 1 – Вплив кількості карбаміду на експлуатаційні показники очищеної напівсинтетичної моторної оливи ELF Evolution 700 STI

Кількість карбаміду, %, мас.	КЧ, мг КОН/г	В'язкість, мм ² /с		ІВ	Вихід, % мас.
		v ₅₀	v ₁₀₀		
0	2,43	50,74	9,58	90	–
1	1,34	51,24	10,36	91	98,70
3	0,75	51,67	11,11	92	98,42
5	0,35	52,68	11,42	92	97,50
7	0,35	53,24	11,64	92	96,83
9	0,35	53,89	12,74	93	96,34
12	0,34	54,94	12,82	95	96,18

Примітка: тривалість процесу 80 хв., температура – 140 °С.

Як бачимо з табл. 1 із збільшенням кількості карбаміду відбувається зменшення значення кислотного числа, незначне зростання кінематичної

в'язкості та індекса в'язкості (ІВ). Суттєве зниження КЧ досягається при використанні 5 % мас. карбаміду. Водночас, із подальшим збільшенням кількості реагента від 5 % мас. до 12 % мас. значення КЧ майже не змінюється. Збільшення кількості реагента позитивно впливає на зменшення зольності від 0,46 % до 0,36 %, кількості механічних домішок від 0,042 % до 0,028 % та відсутності води.

Отримані результати можна пояснити тим, що карбамід здатен, окрім утворення комплексів з парафіновими вуглеводнями нормальної будови, адсорбувати на своїй поверхні органічні забруднення та осаджувати їх [16]. Утворені таким чином сполуки, знаходячись у товщі оливи, здатні впливати на значення кінематичної в'язкості та індекса в'язкості. Водночас, зниження значень зольності, механічних домішок, на наш погляд, можна пояснити тим, що під час взаємодії ВМО з кристалічним карбамідом, він проявляє коагулюючі властивості по відношенню до механічних забруднень, які надалі вилучаються з оливи фільтруванням.

Таблиця 2 – Вплив температури процесу очищення ВМО у присутності карбаміду на експлуатаційні показники очищеної напівсинтетичної моторної оливи ELF Evolution 700 STI

Тем-ра, °С	КЧ, мг КОН/г	В'язкість, мм ² /с		ІВ	Вихід, % мас.
		v ₅₀	v ₁₀₀		
–	2,43	50,74	9,58	90	–
80	1,81	51,22	10,28	91	98,00
100	1,53	51,75	10,42	91	97,73
120	1,15	52,13	11,15	92	97,65
140	0,35	52,68	11,42	92	97,50
160	0,33	52,93	11,89	93	97,30

Примітка: кількість карбаміду – 5% мас., тривалість процесу – 80 хв.

З результатів, поданих у табл. 2, можемо відмітити, що із зростанням температури процесу відбувається зменшення значення КЧ, зменшення кількості води від 0,11 % до <0,03 %, зольності з 0,46 % до 0,36 % та механічних домішок з 0,042 % до 0,03 %. Водночас, спостерігається зростання значень кінематичної в'язкості та ІВ, що також пояснюється вище зазначеним твердженням про адсорбування на поверхні кристалічного комплексу продуктів старіння ВМО кислій основи.

Значення перелічених експлуатаційних показників ВМО за 140 °С і вище незначно відрізняються між собою, що дозволяє встановити оптимальну температуру процесу очищення ВМО кристалічним карбамідом – 140 °С.

На основі отриманих результатів проведених досліджень, поданих у табл. 3, можемо стверджувати,

що зростання тривалості процесу очищення ВМО у присутності карбаміду приводить до зменшення значень КЧ, кількості води з 0,11 % до <0,03 %, зольності 0,46 % до 0,36 % та механічних домішок з 0,042 % до 0,03 %. Водночас, має місце зростання значень кінематичної в'язкості та ІВ.

Однак, від 80 хв. до 100 хв. не спостерігається суттєвої зміни вище зазначених експлуатаційних показників, що дозволяє встановити оптимальну тривалість процесу – 80 хв.

Таблиця 3 – вплив тривалості процесу очищення ВМО у присутності карбаміду на експлуатаційні показники очищеної напівсинтетичної моторної оливи ELF Evolution 700 STI

Тривалість, хв.	КЧ, мг КОН/г	В'язкість, мм ² /с		ІВ	Вихід, % мас.
		v ₅₀	v ₁₀₀		
–	2,43	50,74	9,58	90	–
30	1,53	51,25	10,42	91	98,21
60	1,15	51,75	10,79	91	97,82
80	0,35	52,68	11,42	92	97,50
100	0,33	52,90	11,83	92	97,30

Примітка: – кількість карбаміду – 5% мас., температура процесу – 140 °С.

За встановлених оптимальних умов було здійснено очищення відпрацьованих напівсинтетичних олив, злитих з бензинових та дизельних двигунів після регламентованого пробігу автотранспортних засобів. Отримані значення експлуатаційних показників очищених олив подано в табл. 4.

Таблиця 4 – Експлуатаційні властивості очищених у присутності карбаміду в оптимальних умовах напівсинтетичних моторних олив

Показник	Castrol 10W-40		ELF 700 STI	
	Відпр.	Очищ.	Відпр.	Очищ.
КЧ, мг КОН/г	2,25	0,38	2,43	0,35
Вміст води, %	0,15	< 0,03	0,11	< 0,03
В'язкість, мм ² /с				
	v ₅₀	84,86	115,50	50,74
v ₁₀₀	11,97	14,72	9,58	11,42
ІВ	60	60	90	92
Зольність, %	0,470	0,194	0,458	0,369
Вміст мех. домішок, %	1,24	0,51	0,042	0,030
Вихід, % мас.	-	97,00	-	97,50

Примітка: температура процесу – 140 °С тривалість – 80 хв., кількість карбаміду – 5% мас.

Аналіз значень експлуатаційних властивостей відпрацьованих і очищених олив відповідних марок дозволяє стверджувати, що запропонований метод дозволяє очистити ВМО від води, частково від кислих сполук, знизити вміст механічних домішок та зольність.

Відомо, що усі товарні моторні оливи у своєму складі містять значну кількість металовмісних присадок для підвищення, або надання оливам певних властивостей. Під час активного використання оливи у двигунах внутрішнього згорання присадки спрацьовуються, руйнуються та забруднюють оливу продуктами їх розкладу [18-20]. За спрацьованістю присадок можна констатувати про довговічність роботи двигуна й термін використання змащувальних олив. А тому, аналізуючи вміст металів (індикаторів механічного зносу деталей ДВЗ) та закономірності зміни елементного складу оливи, можна ефективно контролювати властивості моторних олив й діагностувати несправні трибологічні вузли двигунів.

Аналіз результатів, поданий у табл. 5 та 6, свідчить про присутність в оливах металовмісних присадок та їх спрацювання у відпрацьованих оливах.

Таблиця 5 – Елементний склад неорганічної частини моторної напівсинтетичної оливи Castrol 10W-40

Елемент	Вміст металів, ppm		
	Нова	Відпр.	Очищ.
Ca	3528,8	3266,6	2934,1
Zn	1234,7	1169,2	640,1
Cu	10,4	12,2	10,4
Cr	<1,9	<1,9	<1,9
Fe	0,9	10,0	3,1
Mo	115,1	111,3	103,6
Pb	0,5	6,0	1,0

Таблиця 6 – Елементний склад неорганічної частини моторної напівсинтетичної оливи ELF 700 STI

Елемент	Вміст металів, ppm		
	Нова	Відпр.	Очищ.
Ca	4666,7	3354,5	1425,9
Zn	1335,9	1282,2	472,9
Cu	10,4	23,2	11,7
Cr	< 1,9	0,8	0,8
Fe	< 0,9	22,6	18,2
Mo	54,5	15,9	8,6
Pb	<1,1	<1,1	1,1

У працях [18, 19] був поданий детальний опис присутності та зміни кількості вище зазначених металів у вихідних та відпрацьованих моторних оливах вище вказаних марок. Однак, використання запропонованого методу очищення ВМО кристалічним карбамідом, дозволяє, хоча не в повній мірі, вилучати деякі метали з очищених олив. Зокрема, це стосується цинку, кальцію, заліза, свинцю тощо. На наш погляд, вилучення вище перелічених металів відбувається внаслідок їх коагуляції карбамідом, осадження та подальшої фільтрації олив після завершення процесу їх очищення.

Для підтвердження зменшення вмісту кисневмісних продуктів старіння в зразках очищених напівсинтетичних моторних олив кристалічним карбамідом проведено їх ІЧ-спектральний аналіз, результат якого наведено на рис. 1, 2.

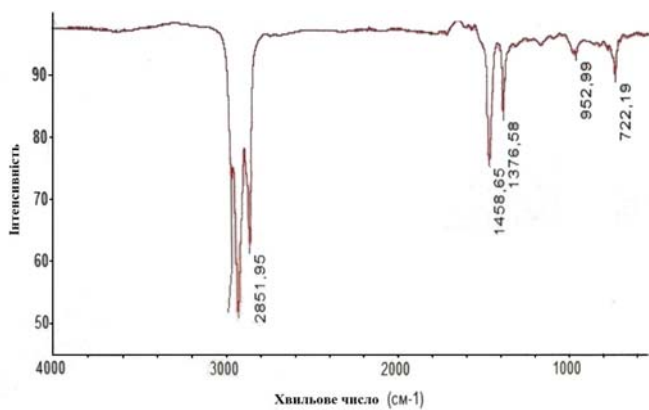


Рис. 1 – ІЧ-спектр відпрацьованої НПСО ELF 700 STI

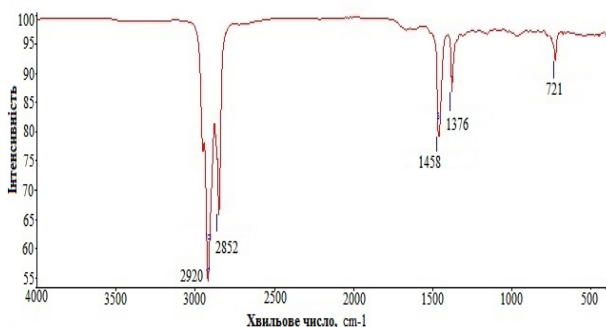


Рис. 2 – ІЧ-спектр очищеної НПСО ELF 700 STI

Аналізуючи вище зображені ІЧ-спектри відпрацьованої та очищеної кристалічним карбамідом напівсинтетичної моторної оливи ELF 700 STI, можемо помітити, що вони мають деякі відмінності.

У зразку відпрацьованої НПСО (рис. 1) виявлено первинні кисневмісні продукти «старіння»

(альдегіди, кетони, спирти, етери, естери та органічні кислоти). Присутність таких продуктів в ІЧ-спектрі відпрацьованої оливи, що містять С=О групу, підтверджені смугами поглинання в області 1740-1690 cm^{-1} . Однак, у спектрі очищеної НПСО такі смуги присутні, але з дещо меншою інтенсивністю поглинання. Органічні кислоти у відпрацьованій НПСО були ідентифіковані смугами поглинання карбоксильної групи в області 1720-1680 cm^{-1} . В ІЧ-спектрі очищеної напівсинтетичної моторної оливи інтенсивність смуг поглинання органічних кислот є нижчою.

Етери у ВНСО були ідентифіковані в області смуг поглинання при 1125-1025 cm^{-1} асиметричними валентними коливаннями С-О-С зв'язку, однак в ІЧ-спектрі очищеної оливи ці коливання мають нижчу інтенсивність. Присутність естерів підтверджується в ІЧ-спектрі відпрацьованої оливи ELF Evolution 700 STI в області смуг поглинання при 1740-1730 cm^{-1} , що відповідає смузі поглинання С=О групи аліфатичних естерів, а також смугою поглинання при 1235-1225 cm^{-1} , що є характерно для валентних коливань С-О зв'язку [21]. Водночас, у спектрі очищеної НПСО ELF Evolution 700 STI інтенсивність смуги поглинання естерів є нижчою.

Наявність карбонільної групи, яка міститься в альдегідах, кислотах та спиртах виявлена в ІЧ-спектрі відпрацьованої НПСО та підтверджена смугами поглинання в області 1725-1620 cm^{-1} та при 1165-1125 cm^{-1} , що характерно для деформаційних коливань С-О групи [21]. Однак, в ІЧ-спектрі очищеної НПСО виявлено смуги поглинання, що характеризують присутність естерів, але з нижчою інтенсивністю.

Аналогічно до попередньої оливи проводили ІЧ-спектроскопічне дослідження відпрацьованої та очищеної кристалічним карбамідом НПСО для дизельних двигунів марки Castrol 10W-40. При аналізі записаних спектрів були отримані результати, аналогічні до вище описаних.

Висновки

Вивчено процес очищення відпрацьованих напівсинтетичних моторних олив для бензинових та дизельних двигунів внутрішнього згорання в присутності кристалічного карбаміду.

Встановлено оптимальні параметри процесу: тривалість – 80 хв., температура – 140 °С, кількість кристалічного карбаміду – 5 % мас.

За допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу вивчено неорганічну частину очищених олив. Встановлено, що після проходження процесу очищення ВМО кристалічним карбамідом

відбувається зменшення вмісту металів в очищених оливах.

Методом ІЧ-спектроскопії підтверджено зменшення кількості кисневмісних продуктів «старіння» в напівсинтетичних моторних оливах.

Процес очищення відпрацьованих моторних напівсинтетичних олив у присутності кристалічного карбаміду доцільно використовувати як проміжну стадію комбінованого технологічного циклу регенерації відпрацьованих моторних олив.

Список літератури (Times New Roman 9)

1. Topilnytskyy P., Paiuk S., Stebelska H., Romanchuk V., Yarmola T. Technological Features of High-Sulfur Heavy Crude Oils Processing. *Chem. Chem. Technol.* 2019, № 13, P. 503-509. doi: 10.23939/chcht13.04.503
2. Topilnytskyy P., Romanchuk V., Yarmola T., Stebelska H. Study on Rheological Properties of Extra-Heavy Crude Oil from Fields of Ukraine. *Chem. Chem. Technol.* 2020, № 14, P. 412-419. doi: 10.23939/chcht14.03.412
3. Nagurskyy A., Khlibyshyn Yu., Grynshyn O., Kochubei V. Rubber Crumb Modified Bitumen Produced from Crude Oils Residuals of Ukrainian Deposits. *Chem. Chem. Technol.* 2020, № 14, P. 420-425. doi: 10.23939/chcht14.03.420
4. Topilnytskyy P., Yarmola T., Romanchuk V., Kucinska-Lipka Ju. Peculiarities of Dewatering Technology for Heavy High-Viscosity Crude Oils of Eastern Region of Ukraine. *Chem. Chem. Technol.* 2021, № 15, P. 423-431. doi:10.23939/chcht15.03.423
5. Grynshyn O., Donchenko M., Khlibyshyn Yu., Poliak O. Investigation of Petroleum Bitumen Resistance to Aging. *Chem. Chem. Technol.* 2021, № 15, P. 438-442. doi: 10.23939/chcht15.03.438
6. Korchak B., Hrynshyn O., Chervinsky T., Polyuzhin I. Application of Vacuum Distillation for the Used Mineral Oils Recycling. *Chem. Chem. Technol.* 2018, № 12, P. 365-371. doi: 10.23939/chcht12.03.365
7. Deef-Allah E., Abdelrahman M., Fitch M., Ragab M., Bose M., He Xi. Balancing the Performance and Environmental Concerns of Used Motor Oil as Rejuvenator in Asphalt Mixes. *Recycling.* 2019. № 11. P. 1-27. doi:10.3390/recycling4010011
8. Boadu K. O., Joel O. F., Essumang D. K., Ebuomwan B. O. A Review of Methods for Removal of Contaminants in Used Lubricating Oil. *Chemical Science International Journal.* 2019. № 4. P. 1-11. doi: 10.9734/CSJI/2019/v26i430101
9. Deef-Allah E., Abdelrahman M. Effect of Used Motor Oil as a Rejuvenator on Crumb Rubber Modifier's Released Components to Asphalt Binder. *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology.* 2020. № 10. P. 1-28. doi: 10.1177/1477760620918600
10. Jinlong Wu, Bo Li, Wei Wang, Shu Yang, Peng Liu, Bo Zhang, Changyan Yang, Yigang Ding. Green Refining of Waste Lubricating Oil: A China Perspective. *Trends in Renewable Energy.* 2019. No. 2. P. 165-180. doi: 10.17737/tre.2019.5.2.0084

11. Misozi D., Victor M., Ebelia M., Tina Ch. Mineral Base Oil Recovery from Waste Lubricant Grease. *Rwanda Journal of Engineering, Science, Technology and Environment.* 2018. № 1. P. 1-7. doi:10.4314/rjeste.v1i1.7S
12. Lei Wei, Haitao Duan, Dan Jia, Yongliang Jin, Song Chen, Lian Liu, Jianfang Liu, Xianming Sun, Jian Li. Motor oil condition evaluation based on on-board diagnostic system. *Friction.* 2018. № 1. P. 1-12. doi:10.1007/s40544-018-0248-0
13. Pinheiro C., Quina M., Gando-Ferreira L. Management of waste lubricant oil in Europe: A circular economy approach. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology.* 2020. P. 1-36. doi: 10.1080/10643389.2020.1771887
14. Sejkorová M., Hurtová I., Jilek P., Novák M., Voltr O. Study of the Effect of Physicochemical Degradation and Contamination of Motor Oils on Their Lubricity. *Coatings.* 2021, № 11, P. 60. doi: 10.3390/coatings11010060
15. Червінський Т.І., Гринишин О.Б., Корчак Б.О. Регенерація відпрацьованих моторних олив в присутності карбаміду. *Вісник НУ «Львівська політехніка» «Хімія, технологія речовин та їх застосування».* 2015, № 812, С. 158-162.
16. Братичак М.М., Гунька В.М. *Хімія нафти і газу.* Л.: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2020. 446 с.
17. Беліков К., Юрченко О. *Рентгенофлуоресцентний аналіз.* Х.: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2012. 52 с.
18. Korchak B., Grynshyn O., Chervinsky T., Shapoval P., Nagurskyy A. Thermooxidative Regeneration of Used Mineral Motor Oils. *Chem. Chem. Technol.* 2020, № 1, P. 129-134. doi: 10.23939/chcht14.01.129
19. Hrynshyn O., Korchak B., Chervinsky T., Kochubei V. Change in properties of M-10DM mineral motor oil after its using in the diesel engine. *Chem. Chem. Technol.* 2017, № 3, P. 387-391. doi: 10.23939/chcht11.03.387
20. Chervinsky T., Grynshyn O., Prokop R., Shapoval P., Korchak B. Study on the Properties of Semi-Synthetic Motor Oil Castrol 10W-40 after Use in a Diesel Engine. *Chem. Chem. Technol.* 2021, № 3, P. 432-437. doi:10.23939/chcht15.03.432
21. Parker, F.S. *Applications of Infrared Spectroscopy in Biochemistry, Biology, and Medicine.* Springer: Boston, MA, USA, 1971.

References (transliterated)

1. Topilnytskyy P., Paiuk S., Stebelska H., Romanchuk V., Yarmola T. Technological Features of High-Sulfur Heavy Crude Oils Processing. *Chem. Chem. Technol.* 2019, № 13, P. 503-509. doi: 10.23939/chcht13.04.503
2. Topilnytskyy P., Romanchuk V., Yarmola T., Stebelska H. Study on Rheological Properties of Extra-Heavy Crude Oil from Fields of Ukraine. *Chem. Chem. Technol.* 2020, № 14, P. 412-419. doi: 10.23939/chcht14.03.412
3. Nagurskyy A., Khlibyshyn Yu., Grynshyn O., Kochubei V. Rubber Crumb Modified Bitumen Produced from Crude Oils Residuals of Ukrainian Deposits. *Chem. Chem. Technol.* 2020, № 14, P. 420-425. doi: 10.23939/chcht14.03.420

4. Topilnytskyy P., Yarmola T., Romanchuk V., Kucinska-Lipka Ju. Peculiarities of Dewatering Technology for Heavy High-Viscosity Crude Oils of Eastern Region of Ukraine. *Chem. Chem. Technol.* 2021, № 15, P. 423-431. doi:10.23939/chcht15.03.423
5. Grynshyn O., Donchenko M., Khlibyshyn Yu., Poliak O. Investigation of Petroleum Bitumen Resistance to Aging. *Chem. Chem. Technol.* 2021, № 15, P. 438-442. doi: 10.23939/chcht15.03.438
6. Korchak B., Hrynshyn O., Chervinskyy T., Polyuzhin I. Application of Vacuum Distillation for the Used Mineral Oils Recycling. *Chem. Chem. Technol.* 2018, № 12, P. 365-371. doi: 10.23939/chcht12.03.365
7. Deef-Allah E., Abdelrahman M., Fitch M., Ragab M., Bose M., He Xi. Balancing the Performance and Environmental Concerns of Used Motor Oil as Rejuvenator in Asphalt Mixes. *Recycling.* 2019. № 11. P. 1-27. doi:10.3390/recycling4010011
8. Boadu K. O., Joel O. F., Essumang D. K., Ebuomwan B. O. A Review of Methods for Removal of Contaminants in Used Lubricating Oil. *Chemical Science International Journal.* 2019. № 4. P. 1-11. doi: 10.9734/CSJI/2019/v26i430101
9. Deef-Allah E., Abdelrahman M. Effect of Used Motor Oil as a Rejuvenator on Crumb Rubber Modifier's Released Components to Asphalt Binder. *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology.* 2020. № 10. P. 1-28. doi: 10.1177/1477760620918600
10. Jinlong Wu, Bo Li, Wei Wang, Shu Yang, Peng Liu, Bo Zhang, Changyan Yang, Yigang Ding. Green Refining of Waste Lubricating Oil: A China Perspective. *Trends in Renewable Energy.* 2019. No. 2. P. 165-180. doi: 10.17737/tre.2019.5.2.0084
11. Misozi D., Victor M., Ebelia M., Tina Ch. Mineral Base Oil Recovery from Waste Lubricant Grease. *Rwanda Journal of Engineering, Science, Technology and Environment.* 2018. № 1. P. 1-7. doi:10.4314/rjeste.v1i1.7S
12. Lei Wei, Haitao Duan, Dan Jia, Yongliang Jin, Song Chen, Lian Liu, Jianfang Liu, Xianming Sun, Jian Li. Motor oil condition evaluation based on on-board diagnostic system. *Friction.* 2018. № 1. P. 1-12. doi:10.1007/s40544-018-0248-0
13. Pinheiro C., Quina M., Gando-Ferreira L. Management of waste lubricant oil in Europe: A circular economy approach. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology.* 2020. P. 1-36. doi: 10.1080/10643389.2020.1771887
14. Sejkorová M., Hurtová I., Jilek P., Novák M., Voltr O. Study of the Effect of Physicochemical Degradation and Contamination of Motor Oils on Their Lubricity. *Coatings* 2021, № 11, P. 60. doi: 10.3390/coatings11010060
15. Chervinskyy T.I., Hrynshyn O.B., Korchak B.O. Rehenratsiya vidprats'ovanykh motornykh olyv u prysutnosti karbamidu. *Visnyk NU «L'viv'ska politekhnika» «Khimiya, tekhnolohiya rechovyn ta yikh zastosovannya».* 2015. № 812, P. 158-162.
16. Bratyshchak M.M., Hun'ka V.M. Khimiya nafty i hazu. L.: Vydavnytstvo NU «L'viv'ska politekhnika», 2020. 446 p.
17. Byelikov K., Yurchenko O. Renthenofluorescentnyy analiz. KH.: Kharkivskyy natsional'nyy universytet imeni V.N. Karazina, 2012. 52 p.
18. Korchak B., Grynshyn O., Chervinskyy T., Shapoval P., Nagurskyy A. Thermooxidative Regeneration of Used Mineral Motor Oils. *Chem. Chem. Technol.* 2020, № 1, P. 129-134. doi: 10.23939/chcht14.01.129
19. Hrynshyn O., Korchak B., Chervinskyy T., Kochubei V. Change in properties of M-10DM mineral motor oil after its using in the diesel engine. *Chem. Chem. Technol.* 2017, № 3, P. 387-391. doi: 10.23939/chcht11.03.387
20. Chervinskyy T., Grynshyn O., Prokop R., Shapoval P., Korchak B. Study on the Properties of Semi-Synthetic Motor Oil Castrol 10W-40 after Use in a Diesel Engine. *Chem. Chem. Technol.* 2021, № 3, P. 432-437. doi:10.23939/chcht15.03.432
21. Parker, F.S. *Applications of Infrared Spectroscopy in Biochemistry, Biology, and Medicine.* Springer: Boston, MA, USA, 1971.

Відомості про авторів (About authors)

Червінський Тарас Ігорович (Chervinskyy Taras) – кандидат хімічних наук, Національний університет «Львівська політехніка», доцент кафедри хімічної технології переробки нафти та газу; м. Львів, Україна; ORCID: 0000-0002-0193-1507; e-mail: chervinskijt@gmail.com

Прокоп Роман Іванович (Prokop Roman) – аспірант, Національний університет «Львівська політехніка», кафедра хімічної технології переробки нафти та газу; м. Львів, Україна; e-mail: romekprokop@gmail.com.

– postgraduate, Department of chemical technology of oil and gas processing, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine; e-mail: romekprokop@gmail.com.

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