

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-19-26>

УДК621.892.3-043.96:620.91 (045)

А. П. Ранський<sup>1</sup>  
 О. М. Сандул<sup>1</sup>  
 Р. В. Коріненко<sup>1</sup>  
 О. А. Гордієнко<sup>1</sup>

## АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА. ПОВІДОМЛЕННЯ IV\*. СЕЛЕКТИВНЕ ОЧИЩЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОЇ ОЛИВИ AW-46

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

Обґрунтовано доцільність та необхідність регенерації мінеральних олив. Наведено дані щодо кількості відпрацьованих олив в Україні. Зазначено, що загальний обсяг використання мастильних матеріалів у світі складає 41,5 млн т, на що витрачається суттєва частина сирової нафти, як джерела енергії вихідної сировини. Подано динаміку викиду парникових газів в атмосферу, збільшення обсягів викиду яких пов'язано з видобутком вихідних ресурсів, виробництвом та використанням енергії в основних секторах діяльності людини. Показано, що реалізація принципу 3R (Reduce–Reuse–Recycle) відносно промислових відходів в рамках циркулярної економіки є вагомим важелем суттєвого зменшення викидів парникових газів, а запровадження однієї з цих складових (Recycle) дозволяє регенерувати відпрацьовані індустріальні, моторні та інші промислові оливи з їхнім подальшим ефективним використанням.

Розроблено метод сорбційного очищення/регенерації відпрацьованої гідравлічної оливи AW-46 з використанням регенованого сорбенту, що складається з активованого вугілля (АВ) та кізельгуру (К). Встановлено оптимальні технологічні параметри процесу: співвідношення сорбент : олива = 1 : 10; температура 50...60 °С; час 30...35 хвилин. Визначено фізико-хімічні характеристики регенованої оливи AW-46, які вказують на високу ефективність використаного сумішевого сорбенту. Досліджено способи утилізації відпрацьованого після регенерації оливи AW-46 сумішевого сорбенту. Показано, що екстракційний метод вилучення органічних забруднювачів є багатостадійним, матеріало- та енергозатратним. Встановлено можливість використання низькотемпературного піролізу для регенерації відпрацьованого сорбенту без попередньої його обробки.

В рамках циркулярної економіки досліджена технологія замкнутого циклу переробки відходів харчової (регенерований сумішевий сорбент) та машинобудівної (гідравлічна олива AW-46) галузей промисловості для подальшого отримання багатofункціональних пластичних масил. Наведена загальна технологічна схема переробки таких відходів. Показано, що регенована гідравлічна олива AW-46 може бути використана як рідка основа пластичних масил.

**Ключові слова:** промислові індустріальні оливи, регенерація, сорбційне очищення, переробка відходів, альтернативні джерела енергії, технологія захисту довкілля.

### Вступ

Збільшення обсягів викидів парникових газів (ПГ) з непередбачуваними наслідками, зміною клімату на планеті пов'язані з нестабільним видобутком вихідних ресурсів, виробництвом та використанням енергії в основних секторах діяльності людини [1]:

- в енергетичному становить 35,6 % викидів ПГ (добування нафти, газу, кам'яного вугілля, уранової руди; робота ГЕС, ТЕС, АЕС, ТЕЦ);
- в промисловому — 23,8 % викидів ПГ (робота гірничо-видобувної, металургійної, хімічної, коксо- та нафтохімічної, металообробної, машинобудівної, електротехнічної, електронної та оборонної промисловості);
- в сільськогосподарському — 20,9 % викидів ПГ (рослинництво та тваринництво; робота під-

приємств з виготовлення продуктів харчування);

– в транспортному — 14,2 % викидів ПГ (залізничний, автомобільний, повітряний, морський транспорт та аерокосмічна галузь);

– в комунальному — 5,5 % викидів ПГ (опалення будинків, охолодження повітря, побутові прилади).

Так, у 2022 році загальний обсяг викидів ПГ, пов'язаний з діяльністю людини, у світі становив 57,8 гігатонн (100 %). До того ж, роботу перелічених галузей діяльності людини поєднує те, що майже всі вони використовують енергію викопної сировини, адже її вклад у загальному енергетичному балансі становить 88,6 % і лише 11,4 % припадає на відновлювальні джерела енергії [2]. Зазначимо, що у 2021 р. Міжурядова група експертів зі зміни клімату при ООН (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) подала звіт про зміну клімату [3], у якому наведені невтішні висновки про те, що людство втратило шанс стримати глобальне потепління Землі. Так, протягом найближчих 20 років, навіть не зважаючи на зусилля всіх країн зі скорочення викидів CO<sub>2</sub>, середня температура на планеті зростає на 1,5 °C. На рис. 1 показана динаміка викиду парникових газів (переважно CO<sub>2</sub>) в атмосферу різними країнами, відповідно до стартового рівня 1990 року [4], [5].

Наведені дані вказують на те, що всім країнам доведеться скорочувати нестабільне використання енергії викопної сировини, з пропорційним заміщенням її альтернативними джерелами енергії. Іншим вагомим важелем суттєвого зменшення викидів парникових газів, прогнозовано до 49 % об'ємних, є реалізація принципу 3R (Reduce–Reuse–Recycle) відносно промислових відходів в рамках циркулярної економіки [6], [7]. Реалізація однієї з цих складових (Recycle) дозволяє регенерувати відпрацьовані індустріальні, моторні та інші промислові оливи з їхнім подальшим ефективним використанням [8]—[15].

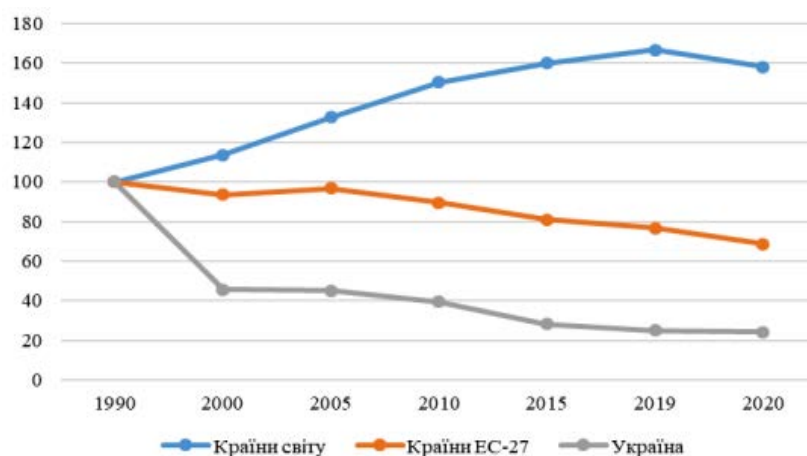


Рис. 1. Динаміка викидів парникових газів в атмосферу різними країнами світу, % відповідно до рівня 1990 р.

Необхідно зазначити, що загальний річний обсяг використання мастильних матеріалів у світі становить 41,5 млн т [16], на що витрачається суттєва частина сирової нафти, як джерела енергії викопної сировини. Так, в роботі [17] зазначається, що на виробництво 1 дм<sup>3</sup> оливи глибокою вакуумною перегонкою необхідно витратити 1 барель (159 дм<sup>3</sup>) сирової нафти. Загальна кількість імпортованих та вироблених в Україні мастильних оливи становить більше 100 тис. т на рік (табл. 1).

Таблиця 1

Загальна кількість вироблених та імпортованих мастильних матеріалів в Україні за 2011—2018 рр.

Рік	Кількість оливи, мастил та важких нафтових дистилатів, тис. т	Кількість оливи імпортованих до України, тис. т	Загальна кількість використання оливи в Україні за рік, тис. т/рік
2011	102	8,843	110,843
2012	101	9,376	110,376
2013	159	10,085	169,085
2014	80,9	13,348	94,248
2015	73,5	10,415	83,915
2016	92,5	12,465	104,965
2017	112	11,841	123,841
2018	118,1	14,816	132,916

Примітка: дані Державної служби статистики України та Державної фіскальної служби за 2011—2018 рр.

Якщо врахувати, що кількість відпрацьованих олив (ВО) складає 80 % від їхньої річної кількості (табл. 1), то на території України їх накопичується кожного року близько 100 тис. т [10], тобто реалізація складової Resycle дозволяє регенерувати ВО, скорочувати видобування сирової нафти та зменшувати при цьому викиди парникових газів. Така діяльність є комерційно привабливою, що підтверджується великою кількістю приватних підприємств України, які спеціалізуються на зборі та утилізації ВО: ТОВ «ГрінАрт»; ТОВ «Еко-Енергопром»; ТОВ «Екологія України» та інші [18]. До того ж, необхідно зазначити, що до альтернативних видів рідкого палива згідно з чинним від 30.06.2024 р. Законом України «Про альтернативні види палива», з останніми змінами від 04.06.2024 № 3769 – IX; Ст. 4, належать «горючі рідини, одержані з відходів промислових виробництв». Тобто, регенерація та повторне пряме або опосередковане використання відпрацьованих індустриальних, моторних або інших промислових олив регламентується на сьогодні цим Законом. На жаль, згідно з усередненими статистичними даними, в Україні збирається приблизно 25 % ВО від загального обсягу їхнього використання, а регенерується лише 15 %, що становить близько 3 % від загального обсягу споживання. При цьому значна частина ВО (30...50 %) приватних транспортних засобів потрапляє у навколишнє середовище або каналізацію, що порушує законодавчу базу України [19] та сприяє забрудненню навколишнього середовища.

На сьогодні розроблені різноманітні методи регенерації ВО, загальна класифікація яких показана на рис. 2.



Рис. 2. Класифікація методів регенерації відпрацьованих олив

Фізичні методи (відстоювання, розділення, фільтрація, сепарація, вакуумна перегонка, очищення в електричних або магнітних полях) дозволяє вилучити зі складу ВО механічні домішки, воду, продукти розкладання різноманітних присадок та асфальто-смолистих речовин деструкції самих олив [21]. Хімічні методи (кислотне та лужне очищення, окиснення, гідроочищення, осушення та очищення за допомогою оксидів, карбідів та гідридів активних металів) дозволяють очистити ВО від асфальто-смолистих речовин, кислот, гетероорганічних сполук, асфальтенів та інших сполук [22]—[25]. Фізико-хімічні методи (коагуляція, адсорбційне очищення, селективне розчинення забруднювачів ВО) дозволяють вилучити з ВО асфальто-смолисті речовини, кислотні сполуки, естери та інші сполуки, які спричиняють старіння олив [17], [26]—[28]. Ці методи є складнішими в практичній реалізації і витратнішими у порівнянні з фізичними та хімічними, але забезпечують глибоке очищення ВО. Комбіновані методи очищення і регенерації ВО (відстоювання і фільтрація, адсорбційне очищення і фільтрація; обробка кислотою, адсорбентом і фільтрація; екстракція та адсорбційне очищення) дозволяють одержати якісні регеновані оливи з високим виходом та забезпечують екологічність самого процесу [29]—[31]. Підсумовуючи ці методи регенерації ВО можна зазначити, що найпоширенішим методом є їхнє адсорбційне очищення з використанням відбілювальних глин, цеолітів, бентонітів та інших природних сорбентів. Проте на сьогодні залишається невирішеним питання утилізації відпрацьованих сорбентів, які містять у своєму складі вуглеводні, асфальто-смолисті речовини, сполуки важких металів, сірки та інших екологічно небезпечних речовин. Вирішення цього питання стало додатковим стимулом розробки екологічно прийнятної цілісної технології селективного очищення гідравлічної оливи AW-46.

*Мета роботи* — розробити метод селективного очищення відпрацьованої гідравлічної оливи AW-46 та розглянути можливість її використання як базової рідини нових пластичних мастил.

### Експериментальна частина

В роботі досліджено селективне очищення відпрацьованої гідравлічної оливи AW-46 (виробник Chevron Belgium NV, Бельгія), наданої ТОВ Торговий дім «Фаворит Авто Вінниця», що використовувалась у роботі гідравлічних пресів та підйомних механізмів. Селективне сорбційне очищення відпрацьованої оливи AW-46 проводили з використанням регенованого сумішевого сорбенту,

який містить активоване вугілля (АВ) та кізельгур (К), виробник E. Vegerow GmbH&Co, Німеччина. Відпрацьований сумішевий сорбент (АВ + К) після очищення цукрових сиропів виробництва безалкогольних напоїв наданий ВФ «Панда» (м. Вінниця). Регенерацію відпрацьованого сумішевого сорбенту (АВ + К) проводили шляхом послідовної обробки сорбенту водою, лугом (KOH, NaOH) та мінеральною кислотою (HCl, HNO<sub>3</sub>) за методикою, викладеною в роботі [20]. Сорбційну ємність сумішевого сорбенту (АВ + К) визначали за йодом, використовуючи методику [32]. При цьому сорбційна ємність регенованого сумішевого сорбенту (АВ + К) становила 98,5 %.

Адсорбційне очищення/регенерацію відпрацьованої оливи AW-46 з використанням регенованого сумішевого сорбенту (АВ + К) здійснювали у статичних умовах, перемішуючи відпрацьовану оливу та сорбент високошвидкісною магнітною мішалкою марки VELP AREC, VELP Scientifica, Італія з подальшим фільтруванням суміші на вакуумній установці [33].

Загальна методика очищення/регенерації гідравлічної оливи AW-46. Відпрацьовану гідравлічну оливу AW-46 попередньо очищали від можливих механічних домішок фільтруванням через складчастий фільтр. До 5 г регенованого сумішевого сорбенту (АВ + К) додавали 100 см<sup>3</sup> відпрацьованої гідравлічної оливи AW-46, суміш перемішували на високошвидкісній магнітній мішалці ( $n = 1000$  об/хв) протягом 30 хв за температури 50...60 °С.

Дослідження фізико-хімічних характеристик гідравлічної оливи проводили згідно з чинними ТУ, ДСТУ, іншими нормативними документами, порівнюючи їх з показниками стандарту ISO 46.

### Результати дослідження

Раніше авторами проведено дослідження з регенерації відпрацьованої оливи I-40A SN 300 [11], [34] та оливи МГЕ-46В за використання регенованого сумішевого сорбенту (АВ + К). В подальшому регенована олива I-40A SN 300 використана як базова рідина мастильних композицій [35]. В продовження цих робіт та з урахуванням збільшення використання в Україні імпортованих олив, авторами проведено дослідження з очищення/регенерації оливи AW-46 з метою її можливого подальшого використання. Умови проведення сорбційного очищення та кількість одержаних при цьому продуктів подані у табл. 2, а визначені фізико-хімічні характеристики оливи AW-46 — в табл. 3.

Таблиця 2

Результати регенерації гідравлічної оливи AW-46

Номер досліджу	Завантажено		Умови проведення		Отримано	
	(АВ + К), г	AW-46, мл	T, °С	t, хв	регенована AW-46, мл	відпрацьований сорбент, г
1	5,0	100	50...60	30	90,4	10,2
2	6,7	100	50...60	30	84,4	16,6
3	10,0	100	50...60	30	81,0	22,6
4	12,5	100	50...60	30	—	—
5	15,0	100	50...60	30	—	—
6	20,0	100	50...60	30	—	—

Таблиця 3

Фізико-хімічні характеристики оливи AW-46

Найменування показника	Товарна олива AW-46, ISO 46*	Відпрацьована олива (ВО) AW-46	Регенована олива		
			Співвідношення (АВ + К) : ВО		
			1 : 10	1 : 15	1 : 20
Кінематична в'язкість за 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	44,00	43,69	43,99	44,14	43,82
Масова частка води, % мас.	відсутня	відсутня	відсутня	відсутня	відсутня
Кислотне число, мг КОН/г,	0,40	1,50	0,67	0,72	0,87
Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	225	220	222	221	218
Механічні домішки, % мас.	відсутні	0,02	відсутні	відсутні	відсутні
Густина за 15 °С, г/см <sup>3</sup>	0,876	0,860	0,860	0,857	0,858

Виробник\* Chevron Belgium NV, Бельгія.

Оптимальними умовами регенерації є: співвідношення (АВ + К) : AW-46 = 1 : 10; температура 50...60 °С; час — 30 хв. При цьому необхідно зазначити, що збільшення кількості сорбенту в

2—4 рази не лише не поліпшує очищення гідравлічної оливи, але й не дозволяє виділити очищену фракцію глибоким вакуумним фільтруванням.

Подані в табл. 3 фізико-хімічні характеристики регенованої оливи AW-46 вказують на високу ефективність використаного сорбенту (AB + K) та на можливість її використання як рідкої основи нових поліфункціональних пластичних мастил.

В роботі [10] зазначено, що у разі використання дешевих та ефективних природних сорбентів залишається невирішеним питання утилізації відпрацьованих твердих сорбентів, адже за використання екологічно прийнятної технології очищення їхня ціна може підвищитися на 40...60 %. Згідно з отриманими даними (табл. 2) у відпрацьованому після регенерації оливи AW-46 сумішевому сорбенті, крім активованого вугілля та кізельгуру, міститься також 5,2...12,6 мл забрудненої рідкої фракції оливи AW-46. Для регенерації такого сорбенту авторами проведено дослідження з його очищення методом екстракції для вилучення органічних забруднювачів промисловим ксилолом за кімнатної температури з використанням високошвидкісної ( $n = 1000$  об/хв) магнітної мішалки марки VELP AREC. Після чого отриману рідку ксилольно-органічну фракцію та регенований сумішевий сорбент (AB + K) розділяли фільтруванням на вакуумній установці. Проте такий метод регенерації відпрацьованого сумішевого сорбенту (AB + K) виявився багастадійним, матеріаломі та енергозатратним. Ефективнішим є досліджений авторами низькотемпературний піроліз відпрацьованого сумішевого сорбенту (AB + K) без попередньої його обробки, який завантажували в реактор-піролізер та витримували суміш в інертному середовищі за температури 250...300 °C протягом години. Вихід рідкої фракції становив 90...92 % мас. від сорбованої її кількості в об'ємі використаного сумішевого сорбенту (AB + K).

Загальна схема регенерації гідравлічної оливи AW-46 з використанням комплексної технології переробки відходів харчової та машинобудівної галузей промисловості та подальшого її використання в рамках циркулярної економіки включає послідовні стадії, показані на рис. 3.

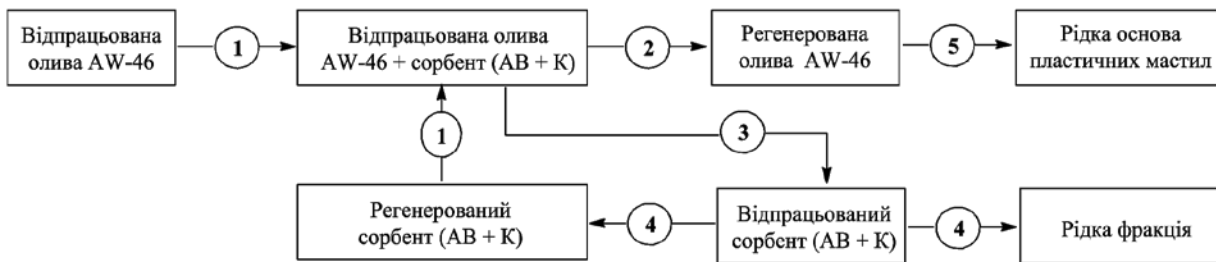


Рис. 3. Загальна технологічна схема переробки відходів харчової та машинобудівної галузей промисловості: 1-ша стадія — сорбційне очищення оливи AW-46 регенованим сорбентом (AB + K); 2-га стадія — виділення регенованої оливи AW-46; 3-тя стадія — виділення відпрацьованого сорбенту (AB + K); 4-та стадія — піролізна регенерація відпрацьованого сорбенту (AB + K); 5-та стадія — розробка та компаундування пластичних мастил

Серед зазначених стадій використання (сорбент (AB + K), регенована олива AW-46) та регенерації (відпрацьована олива AW-46, відпрацьований сорбент (AB + K)), необхідно виділити роботу замкнутого циклу перетворень 1–3–4 за рахунок сорбційного та піролізного процесів. При цьому регеновану оливу AW-46 можна ефективно застосувати (стадія 5) як рідке середовище в процесі виготовлення пластичних мастил [36], а регенований сорбент (AB + K), в залежності від деструктивного окиснення відпрацьованої вихідної оливи AW-46, можна використати ще в 3...5 циклічних перетвореннях.

## Висновки

1. Обґрунтовано доцільність та необхідність регенерації мінеральних олив, зокрема і гідравлічної оливи AW-46 (Бельгія), з метою їхнього повторного практичного використання. Показано, що регенована гідравлічна олива AW-46 може бути використана як рідка основа пластичних мастил.

2. Розроблено метод сорбційного очищення/регенерації відпрацьованої гідравлічної оливи AW-46 з використанням регенованого сорбенту, що складається з активованого вугілля та кізельгуру (AB + K). Встановлено оптимальні технологічні параметри процесу: співвідношення (AB + K) : AW-46 = 1 : 10; температура — 50...60 °C; час — 30...35 хв.

3. В рамках циркулярної економіки досліджено технологію замкнутого циклу переробки відходів харчової (сорбент (AB + K)) та машинобудівної (гідравлічна олива AW-46) галузей промисловості для подальшого отримання багатофункціональних пластичних мастил.

Роботу виконано за держбюджетною темою «Розробка комплексних технологій переробки промислових відходів та раціонального використання відновних сировинних ресурсів для створення нових поліфункціональних матеріалів» (№ держреєстрації 0124u001586).

Автори вдячні ТОВ «Торговий дім «Фаворит Авто Вінниця» за надання відпрацьованої оливи AW-46 та відділу № 8 органічного та нафтохімічного синтезу ІБОНХ ім. В. П. Кухаря НАН України за надану можливість проведення досліджень на піролізній лабораторній установці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] H. Ritchie, P. Rosado, and M. Roser, *CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions*, 2023. [Electronic resource]. Available: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>.
- [2] *Statistical Review of World Energy/Energy economics*, 2019. [Electronic resource]. Available: <https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/press-releases/bp-statistical-review-of-world-energy-2019.html>.
- [3] “Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2021 – The Physical Science Basis,” *Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2023. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
- [4] M. Micheli, “IPCC Summary for Policymakers in TAR: Do its Results Give a Support Always Adequate to the Urgencies of Kyoto Global Negotiations?” *SSRN Electronic Journal*, 2001. [Electronic resource]. Available: <https://ssrn.com/abstract=291944>.
- [5] О. М. Кушніренко, і Н. Г. Гахович, «Циркулярна економіка в контексті сталого розвитку», на VII Міжнародна науково-практична конференція, *Сталий розвиток – XXI століття. Дискусії 2021*, Київ, 2021, с. 147-154.
- [6] Б. В. Коріненко, О. С. Худоярова, К. Ю. Гура, і А. П. Ранський, «Циркулярна економіка та термохімічна конверсія твердих відходів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 7-19, 2021. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-157-4-7-19>.
- [7] Т. В. Писаренко, Т. К. Кваша, Л. А. Мусіна, В. М. Богомазова, О. Ф. Паладченко, і І. В. Молчанова, *Дорожня карта використання науки, технологій, інновацій для досягнення цілей сталого розвитку*, колективна моногр. Київ, Україна: УкрІНТУІ, 2023, 393с. <http://doi.org/10.35668/978-966-479-135-6>.
- [8] К. О. Присяжна, «Екологічно безпечні мастильні матеріали за технологіями рециклінгу полімерних відходів.» дис. канд. техн. наук., Хмельниц. нац. ун-т, Хмельницький, 2017.
- [9] Б. О. Корчак, «Регенерація відпрацьованих мінеральних моторних олив.» дис. канд. техн. наук., Нац. ун-т «Львівська політехніка», Львів, 2019.
- [10] О. М. Давиденко, «Розроблення процесів хімічної та електрохімічної регенерації відпрацьованих олив.» дис. канд. техн. наук., Нац. авіац. ун-т, Київ, 2020.
- [11] О. С. Худоярова, О. А. Гордієнко, Т. С. Тітов, А. П. Ранський, Б. В. Коріненко, і О. В. Петров, «Спосіб регенерації відпрацьованих мінеральних олив,» *Патент України С10М 175/02 (2006.01), С01В 32/00, В01J 20/34 (2006.01). № 146975МПК (2021.01)*, 31.03.2021.
- [12] O. Khudoyarova, et. al., “Integration of Technological Cycles of Industrial Waste Processing,” *Journal of Ecological Engineering*, vol. 22, iss. 6, pp. 209-214, 2021. <https://doi.org/10.12911/22998993/137821>.
- [13] O. Khudoyarova, O. Gordienko, A. Blazhko, T. Sydoruk, and A. Ranskiy, “Desulfurization of Industrial Water-Alkaline Solutions and Receiving New Plastic Oils,” *Journal of Ecological Engineering*, no. 21, pp. 61-66, 2020. <https://doi.org/10.12911/22998993/123254>.
- [14] A. Ranskiy, O. Gordienko, H. Sakalova, T. Sydoruk, and T. Titov, “Complex Sorption Treatment of Industrial Waste and Production of Plastic Lubricants,” *Ecological Engineering & Environmental Technology*, vol. 24, № 3. pp. 54-59, Mar. 01, 2023. <https://doi.org/10.12912/27197050/159628>.
- [15] A. Ranskiy, O. Sandul, O. Gordienko, N. Didenko, and T. Titov, “Development of new C,S,N-containing plastic lubricants based on products from industrial waste integrated processing,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1. no. 6 (127), pp. 13-21, 2024. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296622>.
- [16] *World oil and gas review 2016*. [Electronic resource]. Available: [https://www/eni.com/docs/en\\_IT/enicom/company/fuel-cafe/WOGR-2016.pdf](https://www/eni.com/docs/en_IT/enicom/company/fuel-cafe/WOGR-2016.pdf).
- [17] Р. Н. Курмась, І. С. Глушанкова, і Я. І. Вайсман, «Вибір та обґрунтування методу утилізації відпрацьованих олій на великих промислових підприємствах,» *Transport. Transport facilities. Ecology*, № 1, с. 38-50, 2016.
- [18] *Стан і тенденції ринку моторних масел України, 2017*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://proconsulting.ua/ua/pressroom/sostoyanie-i-tendencii-rynka-motornyh-masel-ukrainy>.
- [19] Кабмін України, «Порядок збирання, видалення, знешкодження та утилізації відпрацьованих мастил (олив)», Постанова № 22 від 17.12.1. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://zakononline.com.ua/documents/show/336080\\_\\_\\_336145](https://zakononline.com.ua/documents/show/336080___336145).
- [20] Г. В. Сакалова, О. М. Сандул, А. П. Ранський, і Т. М. Василінич, «Очищення стічних вод молокопереробної промисловості сумішевыми сорбентами,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, с. 14-20, 2024. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-174-3-14-20>.
- [21] М. І. Горбунов, К. О. Кравець, Я. Р. Дрозд, О. С. Ноженко, М. В. Ковтанець, і М. І. Брагін, «Спосіб регенерації відпрацьованих мастил,» *Патент України С10М 175/00 (2013.01), № 81273МПК*, 10.07.2013.
- [22] R. Abu-Ellella, M. E. Ossman, R. Farong, and M. Abd-Elftah, “Used motor oil treatment: turning waste oil into valuable product,” *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, no. 7, pp. 57-67, 2015.
- [23] Б. О. Корчак, Т. І. Червінський, і О. Б. Гринишин, «Термоокислювальна регенерація відпрацьованих індустриальних олив,» *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування*, № 841, с. 102-107, 2016.



[24] О. Г. Чайка, і Ю. А. Чайка, «Порівняльний аналіз методів очищення відпрацьованих олив на Україні та за її межами.» *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування*, № 644, с. 224-228, 2009.

[25] *Recycling possibilities and potential uses of used oils*. [Online]. Available: [https://www.cprac.org/docs/olis\\_eng.pdf](https://www.cprac.org/docs/olis_eng.pdf).

[26] Б. О. Корчак, «Регенерація відпрацьованих мінеральних моторних олив.» дис. канд. техн. наук, Нац. ун-т «Львів. політехніка», Львів, 2019.

[27] D. I. Osman, S. K. Attia, and A. R. Taman, "Recycling of used engine oil by different solvent," *Egyptian journal of Petroleum*, vol 27, iss. 2, pp. 221-225, Jun. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.05.010>.

[28] E. E. Sirotkina, et al, "Regeneration of used Shell Tellus T-32 hydraulic oil," *Chem. Technol. Fuels Oils*, vol. 48, pp. 409-413, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10553-012-0388-2>.

[29] R. M. Rafie, A. R. I. Inaam, H. T. Alladdin, and M. K. Gordon, "Waste lubricating oil treatment by extraction and adsorption," *Chemical Engineering Journal*, vol. 220, pp. 343-351. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.12.076>.

[30] K. K. Syрманова, A. Y. Kovaleva, Z. B. Kaldubekova, N. Y. Botabayev, Y. T. Botashev and B. Y. Beloborodov, "Chemistry and recycling Technology of used motor oil," *Original Journal of Chemistry*, vol. 33, no. 6, pp. 3195-3199, 2017. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/330665>.

[31] А. Б. Григоров, «Комплексна переробка відпрацьованих моторних олив.» *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*, № 5 (99), с. 40-44, 2012.

[32] О. С. Худоярова, «Комплексне сорбційне очищення промислових стічних вод від сульфід- та купрум(II)-іонів.» дис. канд. техн. наук., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2021.

[33] Н. Б. Сахібов, «Фізико-хімічні основи регенерації відпрацьованих індустриальних мастил природними сорбентами.» дис. канд. техн. наук, Інститут хімії ім. В. І. Нікітіна НАН Республіки Таджикистан, 2012.

[34] Б. В. Коріненко, «Удосконалення технології піролізної переробки полімерних відходів.» дис. д-ра філософії, спец. 183 «Технології захисту навколишнього середовища», Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2023.

[35] Б. В. Коріненко, В. О. Євдокименко, А. П. Ранський, О. А. Гордієнко, і Р. В. Коріненко, «Альтернативна енергетика. Повідомлення III. Удосконалена технологія піролізної переробки суміші полімерних відходів.» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 2, с. 25-32 2024. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-173-2-25-32>.

[36] А. Б. Григоров, «Науково-практичні основи отримання пластичних мастил з вторинної сировини.» дис. д-ра техн. наук, Національна металургійна академія України, Дніпро, 2020.

Рекомендована кафедрою екології, хімії та технологій захисту довкілля ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 13.12.2024

**Ранський Анатолій Петрович** — д-р. хім. наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля;

**Сандул Ольга Миколаївна** — аспірантка кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля; e-mail: sandulola11@gmail.com ;

**Коріненко Роксолана В'ячеславівна** — аспірантка кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля;

**Гордієнко Ольга Анатоліївна** — канд. тех. наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**A. P. Ranskiy<sup>1</sup>**  
**O. M. Sandul<sup>1</sup>**  
**R. V. Korinenko<sup>1</sup>**  
**O. A. Gordienko<sup>1</sup>**

## Alternative Energy. Notice IV. Selective Purification of Hydraulic Oil AW-46

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

*The feasibility and necessity of mineral oil regeneration is substantiated. Data on the amount of waste oils in Ukraine is provided. It is noted that the total volume of lubricants used in the world is 41.5 million tons, which consumes a significant part of crude oil as a source of fossil energy. The dynamics of greenhouse gas emissions into the atmosphere is presented, the increase in emissions of which is associated with the extraction of fossil resources, production and use of*

energy in the main sectors of human activity. It is shown that the implementation of the 3R's principle (Reduce-Reuse-Recycle) in relation to industrial waste within the framework of a circular economy is a significant lever for significantly reducing greenhouse gas emissions and the introduction of one of these components – Recycle – allows the regeneration of used industrial, motor and other oils with their subsequent effective use.

Method of sorption purification/regeneration of used hydraulic oil AW-46 using a regenerated sorbent consisting of activated carbon (AC) and kieselguhr (K) has been developed. The optimal technological parameters of the process have been established: sorbent: oil ratio = 1 : 10; temperature 50...60 °C; time 30...35 minutes. Physicochemical characteristics of the regenerated oil AW-46 have been determined, which indicate the high efficiency of the mixed sorbent used. Methods of utilization of the mixed sorbent used after regeneration of AW-46 oil have been investigated. It has been shown that the extraction method for the removal of organic pollutants is multi-stage, material- and energy-consuming. The possibility of using low-temperature pyrolysis for the regeneration of the used sorbent without its preliminary treatment has been established.

Within the framework of the circular economy, the technology of a closed-loop processing of waste from the food (regenerated mixed sorbent) and machine-building (hydraulic oil AW-46) industries for the subsequent production of multi-functional plastic lubricants has been investigated. General technological scheme for the processing of such waste is given. It is shown that regenerated hydraulic oil AW-46 can be used as a liquid base for plastic lubricants.

**Keywords:** industrial oils, regeneration, sorption purification, waste processing, alternative energy sources, environmental protection technology.

**Ranskiy Anatoliy P.** — Dr. Sc. (Chem.), Professor, Professor of the Chair of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies;

**Sandul Olha M.** — Post-Graduate Student of the Chair of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies e-mail: sandulola11@gmail.com ;

**Korinenko Roksolana V.** — Post-Graduate Student of the Chair of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies;

**Gordienko Olga A.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies