

О. А. Гордієнко  
А. П. Ранський  
О. М. Сандул

## КОМПЛЕКСНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ХІМІЧНИХ СКЛАДОВИХ РІЗНОПЛАНОВИХ ВІДХОДІВ ТА ОТРИМАННЯ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ

Вінницький національний технічний університет

*Показано, що одним із напрямків зменшення витрат енергії, природних ресурсів та викидів вуглекислого газу в атмосферу є зниження тертя та зношення машин і механізмів за рахунок створення нових мастильних матеріалів. Це передбачає розроблення нових технологій виробництва базових олів, нових зсушувачів та нових додатків. Ефективне використання відходів як вторинної промислової сировини є одним із можливих варіантів отримання нових мастильних матеріалів із функціональними експлуатаційними характеристиками. Такий підхід є прийнятним для незбалансованої економіки України та відсутності необхідних фінансових і природних ресурсів.*

*Зазначено, що вилучені та модифіковані складові промислових відходів можна використати як вихідні сполуки при отриманні мастильних матеріалів. Основні складові розроблених пластичних мастил – дисперсійне середовище і дисперсна фаза – отримані з відходів різних промислових виробництв шляхом сорбційного вилучення хімічних речовин. Показана можливість використання регенованого сумішевого сорбенту, що містить активоване вугілля та кізельгур, для очищення відпрацьованих олів і промивних вод гальванічних виробництв від йонів купруму (II).*

*Розроблена комбінована технологічна схема відділення з виробництва пластичних мастил. Перша ділянка представлена технологічною частиною регенерації мінеральних олів і передбачає утилізацію відпрацьованого сорбенту після регенерації олів піролізним методом. Друга ділянка представлена технологічною частиною одержання модифікованої дисперсної фази та пластичних мастил шляхом диспергування та гомогенізації в загальному об'ємі дисперсійного середовища, дисперсної фази та спеціальних додатків. Наведено матеріальний баланс виробництва пластичних мастил. Такі мастила можуть бути рекомендовані для роботи у вузлах тертя ходової частини вантажних автомобілів, а також високонавантажених підшипниках кочення та шарнірах різноманітної техніки.*

**Ключові слова:** промислова екологія, перероблення відходів, пластичні мастила, технології захисту довкілля.

Стаття надійшла до редакції / Received 05.03.2026  
Прийнята до друку / Accepted 23.04.2026  
Опубліковано / Published 29.05.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Гордієнко О.А., Ранський А.П., Сандул О.М.

### Вступ

Вилучення з надр та наступне використання природних ресурсів – мінеральних корисних копалин, невідновних енергоресурсів (вугілля, нафти, газу) – супроводжується утворенням значної кількості промислових відходів, які накопичуються у відвалах, полігонах, шламо-, хвостосховищах тощо. Такі відходи займають значні площі земель, зокрема родючих, є джерелом забруднення ґрунтів, підземних і поверхневих вод, атмосферного повітря. Використання відновних джерел енергії (сонячної, вітро- та гідроенергетики) не забезпечує необхідного світового енергоспоживання – понад 75% енергії виробляється з викопного палива [1], що призводить до ще більшого використання викопних невідновних енергоресурсів і надходження в атмосферу значних обсягів парникових газів.

Світова політика впровадження концепції сталого розвитку стає на сьогодні все більш критичною [2], що зумовлено погіршенням стану навколишнього середовища, а також глобальними викликами в контексті погіршення клімату, збалансованого використання природних ресурсів та викопних джерел енергії. В галузі управління відходами одним з основних завдань є підвищення ефективності використання ресурсів при одночасному зменшенні викидів парникових газів [3]. Можна констатувати, що сьогодні перероблення відходів визначено як ключовий компонент сталого управління ними [4], [5]. В рамках циркулярної економіки відходи розглядають як вихідну сировину, що формує кінцеві продукти з доданою вартістю [6]. Європейський Союз є світовим лідером з перероблення відходів та впровадження циркулярної економіки у промислове виробництво [7], що підтверджено низкою амбітних документів і директив держав-учасниць. Перш за все, це Директива № 2008/98/Є про відходи (Рамкова директива про відходи), основною метою

якої є перетворення країн ЄС на суспільство перероблення, яке прагне уникнути утворення відходів та використовувати їх як ресурс [8]. Відповідно до Рамкової директиви активно впроваджується відновлення (стаття 10), повторне використання та рециклінг / перероблення (стаття 11) промислових відходів.

*Постановка проблеми.* Сучасне обладнання, механізми, транспортні засоби працюють при великих швидкостях, високих навантаженнях та температурах, що призводить до значного зношення пар тертя та, зазвичай, до втрати потужності двигуна на 17–19% [9]. Необхідно зазначити, що витрати на подолання опору тертя в промислово розвинених країнах (США, Німеччина, Японія) складають приблизно 4,5% ВВП [10], [11]. Загалом у світі на подолання тертя витрачається понад 100 млн ТДж/рік (~23% від загального світового споживання енергії), що супроводжується глобальними викидами CO<sub>2</sub> у кількості 7000 млн т/рік і створює проблеми досягнення вуглецевої нейтральності [1], [12]. В огляді [12] зазначено, що використання нових технологій обробки поверхонь, матеріалів та змащення для зменшення тертя та захисту від зношення в транспортних засобах та обладнанні у всьому світі дозволить зменшити витрати енергії через тертя та зношення на 40% і скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 3140 млн т у довгостроковій перспективі.

Тобто, якщо прослідкувати логічний ланцюг: економіка – енергетика (спалювання викопного палива) – екологія, то це вказує на прямий зв'язок між зниженням енергетичних затрат на подолання тертя і захист від зношення та зменшенням газових викидів (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ПАРА) в атмосферу. Тому розробка нових мастильних матеріалів має велике значення для зменшення витрат природних ресурсів та енергії [13]. В цьому контексті для покращення роботи машин і механізмів (зменшення тертя і зношення) до мастильних матеріалів додають протизношувальні, протизадирні, антифрикційні, антиокислювальні, в'язкісно-температурні, диспергуючі та інші добавки [14], [15]. Для створення пластичних мастил, що задовольняють вище переліченим показникам, розробляються все нові технології виробництва базових олив, нові згущувачі та нові експлуатаційні добавки.

Одним із можливих варіантів пошуку ефективних додатків до сучасних пластичних мастил є комплексне вилучення активних хімічних сполук із промислових відходів. Тобто, ефективне використання вторинної промислової сировини можна розглядати один із напрямків отримання нових пластичних мастил. Такий підхід найбільш прийнятний для незбалансованої економіки України та відсутності необхідних фінансових та природних ресурсів. Однак, подібні дослідження та технологічні розробки у світовій практиці практично відсутні.

*Мета роботи* – розробка комплексної технології вилучення і перероблення хімічних складових різнопланових відходів з отриманням нових С, N, S-вмісних пластичних мастил.

### Викладення основного матеріалу досліджень

В низці робіт нами досліджено використання вилучених і модифікованих складових промислових відходів як вихідних сполук нових мастильних матеріалів [16], зокрема пластичних мастил [17]. Пластичні мастила є високоструктурованими тиксотропними дисперсіями твердих загущувачів у рідкому середовищі. Їх складовими є дисперсійне середовище, дисперсна фаза (загущувач) і добавки [14].

Особливості виробництва розроблених нами пластичних мастил стосуються, в першу чергу, можливості отримання дисперсної фази та дисперсійного середовища як основних складових пластичних мастил з використанням адсорбції, як одного із методів глибокого очищення стічних вод і екологічно безпечного перероблення відходів від багатьох небезпечних забруднювачів [18]. Дисперсна фаза була отримана шляхом послідовного сорбційного вилучення хімічних речовин із промислових відходів різних виробництв, а саме:

- діалкіламіну з непридатних до використання пестицидних препаратів на основі амонієвих солей арилкарбонових кислот;
- сірковуглецю з головної фракції сирого бензолу як побічного продукту при виробництві коксу та напівкоксу коксохімічних виробництв;
- купрум (II)-іонів з промивних вод електрохімічного процесу нанесення мідного покриття на сталеві вироби.

Дисперсійне середовище отримували сорбційним очищенням відпрацьованих мінеральних олив. При цьому в обох випадках застосовувався регенований сумішевий сорбент, який складається з активованого вугілля (АВ) та кізельгуру (К). Використання ще одного виду промислових відходів –

відпрацьованого сорбенту (АВ + К) після стадії освітлення водно-цукрових сиропів виробництва безалкогольних напоїв – досягається відновленням його сорбційної ємності стадійною обробкою лугом та мінеральною кислотою [19].

В роботі [20] досліджено основні стадії каскадних топохімічних реакцій на поверхні сумішевого сорбенту (АВ + К) з отриманням біс-(діетилдитіокарбамато)купруму (II)  $[(C_2H_5)_2NC(=S)S]_2Cu$ . Проходження таких перетворень було підтверджено ІЧ-спектральними та рентгенофазовими методами [21]. Утворення на поверхні сорбенту  $[(C_2H_5)_2NC(=S)S]_2Cu$  забезпечує ступінь вилучення купрум (II)-іонів з промивних гальванічних вод у 99%. Саме сумішевий сорбент, до складу якого входив структурний фрагмент  $[(AB + K) \cdot \{(C_2H_5)_2NC(=S)S\}_2Cu]$  – модифікований сумішевий сорбент (АВ + К)ДТКСu – слугував дисперсною фазою розроблених пластичних мастил. Окрім загущувача дисперсійного середовища (С, SiO<sub>2</sub>) така дисперсна фаза має протизношувальні та протизадирні властивості за рахунок наявності у її складі комплексу біс-(N,N-діетилдитіокарбамато)купруму (II).

Технологія виготовлення пластичних мастил, яка полягає в гомогенізації високодисперсних твердих загущувачів (модифікованої твердої фази (АВ + К)ДТКСu) в дисперсійному середовищі (регенерованих мінеральних оливах), додатків (олеїнової кислоти, борорганічного додатку, графіту) зводиться до механічного диспергування дозованих складових з використанням скребково-лопатевого апарата. Матеріальний баланс виробництва пластичного мастила подано в табл. 1.

Таблиця 1

**Матеріальний баланс виробництва С, N, S-вмісного пластичного мастила**

Завантажено / сировина	Масова частка, %	Отримано / продукти	Масова частка, %
Мастило консталин-1	20,0	Пластичне мастило Втрати	95,5
Індустріальна олива І-40А	10,0		4,5
Моноетаноламін	7,5		
Борна кислота	2,5		
Олеїнова кислота	10,0		
Модифікована дисперсна фаза (АВ + К)ДТКСu	40,0		
Графіт ГС-1	10,0		
Всього	100,0		100,0

Крім того, технологічною особливістю виробництва нових пластичних мастил є те, що запропонована комплексна переробка відходів різних промислових виробництв, окрім отримання кінцевої затребуваної продукції, передбачає утилізацію відпрацьованого сорбенту після регенерації олив піролізним методом [22].

На рис. 1 приведена розроблена комбінована технологічна схема відділення з виробництва пластичних мастил. На І ділянці отримують дисперсійне середовище, а на ІІ ділянці – модифіковану дисперсну фазу та кінцевий продукт – пластичні мастила.

Ділянка І представлена технологічною частиною регенерації мінеральних олив. При значному обводненні мінеральна олива (І-20А, І-40А, ІПП-114, АW-46) подається в ємність п. 1, де при незначному нагріванні до 35–45 °С, протягом 3–6 год відбувається її розділення на водну (ємність п. 2) та органічну (ємність п. 3) частини. Потім в ємність п. 3 додається регенований сумішевий сорбент (АВ + К) і при механічному перемішуванні в динамічному режимі олива очищається від залишків води та темних продуктів окиснення мінеральної оливи. Далі очищена олива насосом п. 8 через фільтр п. 9 подається в ємність п. 4 для регенованої оливи. З часом відпрацьований сумішевий сорбент (АВ + К) подається для технічної регенерації в піролізну установку п. 5. Реактор-піролізер працює в температурному інтервалі 325–380 °С з виділенням термічно регенованого сорбенту, піролізного газу та мінеральної оливи. Остання при проходженні через теплообмінник-конденсатор п. 6, переходить в рідкий стан та подається в ємність п. 3 для додаткового очищення. Регенований сумішевий сорбент (АВ + К) після визначення його сорбційної ємності може повторно використовуватись в ємності п. 3, а газова суміш компресором п. 7 подається на спалювання як внутрішній теплоносій реактора-піролізера п. 5.

Ділянка ІІ представлена технологічною частиною одержання модифікованої дисперсної фази – модифікованого сумішевого сорбенту (АВ + К)ДТКСu та пластичних мастил шляхом диспергування та гомогенізації в загальному об’ємі дисперсійного середовища, дисперсної фази та

спеціальних додатків. Скребково-лопатевий реактор п. 5 завантажують розрахованою кількістю регенованого сумішевого сорбенту (АВ + К), а потім через дозатор п. 24 стадійно добавляють необхідну кількість хлориду діетиламіну, головну фракцію сирого бензолу та купрум (II)-іони у вигляді промивних вод гальванічних виробництв. Після отримання модифікованої дисперсної фази її насосом п. 17 подають на фільтр п. 26, виділену тверду фракцію просушують та завантажують в скребково-лопатевий реактор п. 16.

В реактор п. 16, окрім отриманої сухої модифікованої дисперсної фази із ємності п. 15, подають необхідну кількість із ємності п. 4 мінеральної оливи, через дозатор п. 25 консталин-1, борорганічний додаток та графіт. Кінцеву гомогенізацію пластичного мастила проводять за температури 40–45 °С впродовж 30–60 хв. На заключній стадії в скребково-лопатевий реактор п. 16 через дозатор п. 25 добавляють необхідну кількість олеїнової кислоти, підвищують температуру до 70–75 °С та перемішують суміш до повної її гомогенізації. Кінцевий продукт – пластичні мастила через додатковий гомогенізатор п. 18, деаератор п. 19 подають в проміжну ємність – накопичувач пластичних мастил п. 20 та до основної ємності збереження мастил п. 22.

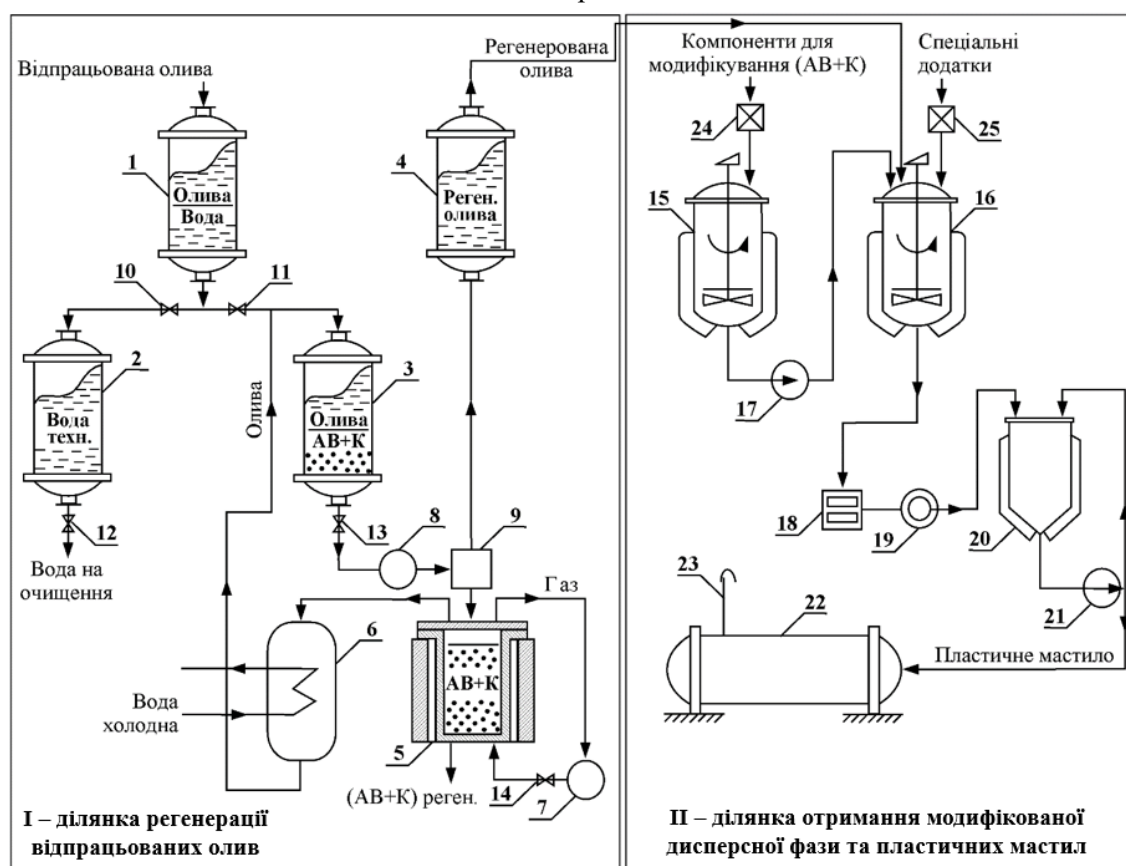


Рисунок 1 – Комбінована технологічна схема регенерації оливи, сорбційного вилучення хімічних складових промислових відходів та одержання пластичних мастил: I – ділянка регенерації відпрацьованих оливи; 1, 3, 4 – ємності для оливи; 2 – ємність для технічної води; 8 – насос; 9 – фільтр для відділення твердої фази (АВ + К); 5 – піролізна установка; 6 – теплообмінник-конденсатор; 7 – компресор; 10, 11, 12, 13, 14 – запірні вентилі; II – ділянка отримання модифікованої дисперсної фази та пластичних мастил; 15, 16 – скребково-лопатевий реактор; 17, 21 – насоси; 18 – гомогенізатор; 19 – деаератор; 20 – проміжний накопичувач пластичного мастила; 22 – ємність для пластичного мастила; 23 – газовий клапан; 24 – дозатор реагентів топохімічних реакцій з утворенням біс-(N,N-діетилдитіокарбамато)купруму (II); 25 – дозатор спеціальних додатків до пластичних мастил

Запропонована комплексна технологія одержання пластичних мастил може бути успішно використана на практиці як для регенерації відпрацьованих оливи та очищення промивної води гальванічних виробництв від купрум (II)-іонів, так і для виробництва конкурентоспроможної продукції у вигляді пластичних мастил. За винятком піролізної установки вона включає типові хімічне обладнання та найбільш прості операції – розчинення, адсорбцію, перемішування та фільтрування.

Розроблені нові пластичні мастила, окрім хелату біс-(N,N-діетилдитіокарбамато)купруму (II), який проявляє протизношувальні, протизадирні та антифрикційні властивості, містять у своєму

складі низку інших цінних компонентів. Так, олеїнова кислота, борорганічний додаток, отриманий взаємодією моноетаноламіну з борною кислотою, та технічний графіт забезпечують мастилам додатково навантажувальні, термостійкі та антикорозійні властивості. Ці мастила є високоефективними багатоцільовими комплексними мастилами чорного кольору, які можуть працювати в умовах високих навантажень та температур. Такі мастила можна рекомендувати для роботи у вузлах тертя ходової частини вантажних автомобілів, а також високонавантажених підшипниках кочення та шарнірах різноманітної техніки.

### Висновки

1. Показано, що одним із напрямків зменшення витрат енергії і природних ресурсів та викидів вуглекислого газу в атмосферу є зниження тертя та зношення машин і механізмів за рахунок створення нових мастильних матеріалів. Як вихідні сполуки при їх отриманні можна використати вилучені та модифіковані складові промислових відходів, що відповідає принципам циркулярної економіки.

2. Розроблено пластичні мастила, основні складові яких – дисперсійне середовище і дисперсна фаза – отримані з відходів різних промислових виробництв шляхом сорбційного вилучення хімічних речовин.

3. Розроблено комбіновану технологічну схему регенерації мінеральних олив (дисперсійного середовища) та отримання модифікованої дисперсної фази, гомогенізація яких з введенням додатків (олеїнової кислоти, графіту, борорганічного додатку) в одному реакторі дає змогу отримати нові високоефективні C, N, S-вмісні пластичні мастила.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] S.-W. Zhang, «Recent developments of green tribology,» *Surface Topography: Metrology and Properties*, Vol. 4, no. 2, 023004. 2016. <https://doi.org/10.1088/2051-672X/4/2/023004>.
- [2] K. J. Bonnedahl, P. Heikkurinen, and J. Paavola, «Strongly sustainable development goals: Overcoming distances constraining responsible action,» *Environmental Science & Policy*, Vol. 129, March, pp. 150–158. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.01.004>.
- [3] D. A. Turner, I. D. Williams, and S. Kemp, «Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials,» *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 105, Part A, December, pp. 186–197. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.026>.
- [4] S. Khan, R. Anjum, S. T. Raza, N. A. Bazai, and M. Ihtisham, «Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives,» *Chemosphere*, Vol. 288, Part 1, February, 132403. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132403>.
- [5] T. Hoang, P. S. Varbanov, S. Nižetić, R. Sirohi, A. Pandey, R. Luque, K. Hoong Ng, and V. V. Pham, «Perspective review on Municipal Solid Waste-to-energy route: Characteristics, management strategy, and role in circular economy,» *Journal of Cleaner Production*, Vol. 359, July, 131897. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131897>.
- [6] С. О. Тульчинська, та М. О. Баранніков, «Тенденції розвитку сфери переробки відходів у розрізі циркулярної економіки,» *Ефективна економіка*, № 11. 2024. <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.11.23>.
- [7] E. Chioatto, and P. Sospiro, «Transition from waste management to circular economy: The European Union roadmap,» *Environment, Development and Sustainability: A Multidisciplinary Approach to the Theory and Practice of Sustainable Development*, Vol. 25, no. 1, pp. 249–276. 2023, <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02050-3>.
- [8] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance). <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj/eng>.
- [9] M. K. A. Ali, P. Fuming, H. A. Younus, M. A. A. Abdelkareem, F. A. Essa, A. Elagouz, and H. Xianjun, «Fuel economy in gasoline engines using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> nanomaterials as nanolubricant additives,» *Applied Energy*, Vol. 211, February, pp. 461–478. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.013>.
- [10] М. В. Курбатова, Й. А. Любінін, Н. Б. Кьоніг, та Л. М. Куліков, «Напрямки покращення трибологічних властивостей бентонітових мастил,» *Питання хімії та хімічної технології*, № 3, с. 118–121. 2013.
- [11] M. Waqas, R. Zahid, M.U. Bhutta, Z.A. Khan, and A. Saeed, «A Review of Friction Performance of Lubricants with Nano Additives,» *Materials*, 14, No 21, 6310. 2021. <https://doi.org/10.3390/ma14216310>.
- [12] K. Holmberg, and A. Erdemir, «Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions,» *Friction*, Vol. 5, pp. 263–284. 2017. <https://doi.org/10.1007/s40544-017-0183-5>.
- [13] H. Gong, C. Yu, L. Zhang, G. Xie, D. Guo, J. Luo «Intelligent lubricating materials: A review,» *Composites Part B: Engineering*, Vol. 202, December, 108450. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108450>.
- [14] П. Топільницький, С. Бойченко, А. Пушак, В. Романчук, Й. Любінін, І. Трофімов, та О. Мікосянчик, *Пластичні мастила: властивості та якість*. Київ, Україна: Центр учбової літератури, 2021.
- [15] L. Duan, J. Li, and H. Duan, «Nanomaterials for lubricating oil application: A review,» *Friction*, Vol. 11, pp. 647–684. 2023. <https://doi.org/10.1007/s40544-022-0667-9>.
- [16] Т. С. Тітов, А. П. Ранський, О. В. Диха, О. А. Гордієнко, та Н. О. Діденко, «Технологічний дизайн присадок до індустриальних олив, отриманих реагентною переробкою високотоксичних промислових відходів,» *Проблеми трибології*, № 4, с. 81–89. 2014.

- [17] Ranskiy, O. Gordienko, H. Sakalova, T. Sydoruk, T. Titov, and O. Blazhko, «Complex Sorption Treatment of Industrial Waste and Production of Plastic Lubricants,» *Ecological Engineering & Environmental Technology*, Vol. 24, no. 3, pp. 54–59. 2023. <https://doi.org/10.12912/27197050/159628>.
- [18] І. А. Василенко, Є. В. Чупринов, А. В. Іванченко, М. І. Скиба, В. І. Воробйова, та В. В. Галиш, *Зелені технології у промисловості*. Дніпро, Україна: Акцент ПП, 2019.
- [19] А. П. Ранський, О. М. Сандул, О. А. Гордієнко, Т. С. Тітов, Г. В. Сакалова, та Т. М. Василенко, «Спосіб регенерації активованого вугілля та кізельгуру,» Патент України С01В 32/30, С01В32/36. № 158466 У МПК. 12.02.2025.
- [20] Ranskiy, O. Sandul, O. Gordienko, T. Titov, N. Didenko, and «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>.
- [21] А. П. Ранський, О. М. Сандул, Р. В. Коріненко, О. А. Гордієнко, Б. В. Коріненко, «ІЧ-Фур'є спектральні та рентгенофазові дослідження топохімічних реакцій на поверхні сумішевого сорбенту в процесі отримання багатофункціональних пластичних мастил,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 38–48. 2025. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-181-4-38-48>.
- [22] А. П. Ранський, О. М. Сандул, Р. В. Коріненко, та О. А. Гордієнко, «Альтернативна енергетика. Повідомлення IV. селективне очищення гідравлічної оливи AW-46,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 19–26. 2024. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-19-26>.

## REFERENCES

- [1] S.-W. Zhang, «Recent developments of green tribology,» *Surface Topography: Metrology and Properties*, Vol. 4, no. 2, 023004. 2016. <https://doi.org/10.1088/2051-672X/4/2/023004>.
- [2] K. J. Bonnedahl, P. Heikkurinen, and J. Paavola, «Strongly sustainable development goals: Overcoming distances constraining responsible action,» *Environmental Science & Policy*, Vol. 129, March, pp. 150–158. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.01.004>.
- [3] D. A. Turner, I. D. Williams, and S. Kemp, «Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials,» *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 105, Part A, December, pp. 186–197. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.026>.
- [4] S. Khan, R. Anjum, S. T. Raza, N. A. Bazai, and M. Ihtisham, «Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives,» *Chemosphere*, Vol. 288, Part 1, February, 132403. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132403>.
- [5] T. Hoang, P. S. Varbanov, S. Nizetić, R. Sirohi, A. Pandey, R. Luque, K. Hoong Ng, and V. V. Pham, «Perspective review on Municipal Solid Waste-to-energy route: Characteristics, management strategy, and role in circular economy,» *Journal of Cleaner Production*, Vol. 359, July, 131897. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131897>.
- [6] S. O. Tulchynska, та М. О. Баранников, «Tendentsii rozvytku sfery pererobky vidkhodiv u rozrizi tsyrkularnoi ekonomiky,» *Efektivna ekonomika*, № 11. 2024. <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.11.23>.
- [7] E. Chioatto, and P. Sospiro, «Transition from waste management to circular economy: The European Union roadmap,» *Environment, Development and Sustainability: A Multidisciplinary Approach to the Theory and Practice of Sustainable Development*, Vol. 25, no. 1, pp. 249–276. 2023. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02050-3>.
- [8] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance). <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj/eng>.
- [9] M. K. A. Ali, P. Fuming, H. A. Younus, M. A. A. Abdelkareem, F. A. Essa, A. Elagouz, and H. Xianjun, «Fuel economy in gasoline engines using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> nanomaterials as nanolubricant additives,» *Applied Energy*, Vol. 211, February, pp. 461–478. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.013>.
- [10] M. V. Kurbatova, Y. A. Liubinin, N. B. Konih, та L. M. Kulikov, «Napriamky pokrashchennia trybolohichnykh vlastyvoesti bentonitovykh mastyi,» *Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnolohii*, № 3, s. 118–121. 2013.
- [11] M. Waqas, R. Zahid, M. U. Bhutta, Z. A. Khan, and A. Saeed, «A Review of Friction Performance of Lubricants with Nano Additives,» *Materials*, 14, No 21, 6310. 2021. <https://doi.org/10.3390/ma14216310>.
- [12] K. Holmberg, and A. Erdemir, «Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions,» *Friction*, Vol. 5, pp. 263–284. 2017. <https://doi.org/10.1007/s40544-017-0183-5>.
- [13] H. Gong, C. Yu, L. Zhang, G. Xie, D. Guo, J. Luo, «Intelligent lubricating materials: A review,» *Composites Part B: Engineering*, Vol. 202, December, 108450. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108450>.
- [14] P. Topilnytskyi, S. Boichenko, A. Pushak, V. Romanchuk, Y. Liubinin, I. Trofimov, та O. Mikosianchyk, *Plastychni mastyla: vlastyvoosti ta yakist*. Kyiv, Ukraina: Tsentr uchbovoi literatury, 2021.
- [15] L. Duan, J. Li, and H. Duan, «Nanomaterials for lubricating oil application: A review,» *Friction*, Vol. 11, pp. 647–684. 2023. <https://doi.org/10.1007/s40544-022-0667-9>.
- [16] T. S. Titov, A. P. Ranskiy, O. V. Dykha, O. A. Hordienko, та N. O. Didenko, «Tekhnolohichniy dyzain prysadok do industrialnykh olyv, otrymanykh reahentnoiu pererobkoiu vysokotoksychnykh promyslovykh vidkhodiv,» *Problemy trybolohii*, № 4, s. 81–89. 2014.
- [17] Ranskiy, O. Gordienko, H. Sakalova, T. Sydoruk, T. Titov, and O. Blazhko, «Complex Sorption Treatment of Industrial Waste and Production of Plastic Lubricants,» *Ecological Engineering & Environmental Technology*, Vol. 24, no. 3, pp. 54–59. 2023. <https://doi.org/10.12912/27197050/159628>.
- [18] A. Vasylenko, Ye. V. Chuprynov, A. V. Ivanchenko, M. I. Skyba, V. I. Vorobiova, та V. V. Halysh, *Zeleni tekhnolohii u promyslovosti*. Dnipro, Ukraina: Aktsent PP, 2019.
- [19] P. Ranskiy, O. M. Sandul, O. A. Hordienko, T. S. Titov, H. V. Sakalova, та T. M. Vasylynych, «Sposib rehenera tsii aktyvovanoho vuhillia ta kizel'huru,» Patent Ukrainy S01B 32/30, S01V32/36. № 158466 U MПК. 12.02.2025.

- [20] Ranskiy, O. Sandul, O. Gordienko, T. Titov, N. Didenko, and «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>.
- [21] P. Ranskiy, O. M. Sandul, R. V. Korinenko, O. A. Hordienko, B. V. Korinenko, «ICh-Furie spektralni ta renthenofazovi doslidzhennia topokhimichnykh reaktsii na poverkhni sumishevoho sorbentu v protsesi otrymannia bahatofunktsionalnykh plastychnykh mastyl,» *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, № 4, s. 38–48. 2025. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2025-181-4-38-48>.
- [22] P. Ranskiy, O. M. Sandul, R. V. Korinenko, ta O. A. Hordienko, «Alternatyvna enerhetyka. Povidomlennia IV. selektyvne ochyshchennia hidravlichnoi olyvy AW-46», *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, № 6, s. 19–26. 2024. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-19-26>.

**Гордієнко Ольга Анатоліївна** — канд. тех. наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, [olha.hordienko@gmail.com](mailto:olha.hordienko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6139-8142>;

**Ранський Анатолій Петрович** — д-р. хім. наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, [ranskiy@gmail.com](mailto:ranskiy@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9671-3018>;

**Сандул Ольга Миколаївна** — аспірантка кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, [sandulola1@gmail.com](mailto:sandulola1@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1775-0743>.

**O. A. Gordienko**  
**A. P. Ranskiy**  
**O. M. Sandul**

## COMPLEX TECHNOLOGY FOR PROCESSING CHEMICAL COMPONENTS OF MISCELLANEOUS WASTE AND OBTAINING PLASTIC LUBRICANTS

Vinnitsia National Technical University

*It has been shown that one of the ways to reduce energy consumption, natural resources, and carbon dioxide emissions into the atmosphere is to reduce friction and wear of machines and mechanisms by creating new lubricants. This involves the development of new technologies for the production of base oils, new thickeners, and new additives. The effective use of waste as secondary industrial raw materials is one of the possible options for obtaining new lubricants with functional performance characteristics. This approach is acceptable for Ukraine's unbalanced economy and lack of necessary financial and natural resources.*

*It is noted that the extracted and modified components of industrial waste can be used as starting compounds in the production of lubricants. The main components of the developed plastic lubricants – the dispersion medium and the dispersed phase – are obtained from the waste of various industrial productions by sorption extraction of chemicals. The possibility of using a regenerated mixed sorbent containing activated carbon and diatomaceous earth to purify waste oils and washing waters from electroplating industries from copper (II) ions is demonstrated.*

*A combined technological scheme for a plastic lubricant production department has been developed. The first section is represented by the technological part of mineral oil regeneration and provides for the utilization of spent sorbent after oil regeneration by pyrolysis. The second section is the technological part of obtaining a modified dispersed phase and plastic lubricants by dispersing and homogenizing in the total volume of the dispersion medium, the dispersed phase, and special additives. The material balance of plastic lubricant production is presented. Such lubricants can be recommended for use in the friction units of the running gear of trucks, as well as in heavy-duty rolling bearings and joints of various equipment.*

**Keywords:** industrial ecology, waste processing, plastic lubricants, environmental protection technologies.

**Gordienko Olga A.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, [olha.hordienko@gmail.com](mailto:olha.hordienko@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-6139-8142>;

**Ranskiy Anatoliy P.** — Dr. Sc. (Chem.), Professor, Professor of the Chair of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, [ranskiy@gmail.com](mailto:ranskiy@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9671-3018>;

**Sandul Olha M.** — Post-Graduate Student of the Chair of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, [sandulola1@gmail.com](mailto:sandulola1@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1775-0743>.