

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-173-2-25-32>

УДК 628.475.043-048.78(045)

Б. В. Коріненко<sup>1</sup>  
В. О. Євдокименко<sup>1</sup>  
А. П. Ранський<sup>2</sup>  
О. А. Гордієнко<sup>2</sup>  
Р. В. Коріненко<sup>2</sup>

## АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА. ПОВІДОМЛЕННЯ ІІІ\* . УДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІРОЛІЗНОЇ ПЕРЕРОБКИ СУМІШІ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ

<sup>1</sup>Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН України, Київ;

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

Проаналізовано можливість комплексної переробки та розроблено удосконалену технологію низькотемпературного піролізу сумішевих полімерних відходів (поліетилену високої щільності 50 % + поліетилену низької щільності 50 % (ПЕВЩ 50 % + ПЕНЩ 50 %)) шляхом додавання до основної технології переробки додаткових технологічних процесів переробки отриманого пірокарбону (отримання пластичних мастил та паливних брикетів). Піроліз суміші поліетиленових відходів (ПЕВЩ 50 % + ПЕНЩ 50 %) за основною технологією проводили в реакторі без доступу кисню повітря в температурному інтервалі 240...395 °С протягом 3,5 годин. При цьому продукти піролізу становили: піролізний газ — 5,57 % мас, піролізна рідина — 85,57 % мас. та пірокарбон — 3,83 % мас.

Переробку отриманого пірокарбону з метою отримання пластичних мастил проводили за технологією, що включає очищення відпрацьованої оливи І-40А від води та механічних домішок, його регенерацію та змішування з іншими складовими: Константін-1, полісульфідом, олеїною кислотою та спеціальним технологічним додатком (І-40А + БТА 0,1 %) до її повної гомогенізації.

Переробку отриманого пірокарбону з метою отримання паливних брикетів проводили за технологією, що включає отримання з води та гофрокартону однорідної водно-колоїдної пульпи та її змішування в реакторі-диспергаторі із розрахованою кількістю пірокарбону та тирси деревної. Утворену однорідну пульпу подавали на механічний або електромеханічний прес та отримували паливні брикети типу RUF.

Удосконалена технологія переробки полімерних відходів дає можливість повнішого та ефективнішого використання утворених альтернативних джерел енергії піролізної рідини, піролізного газу та пірокарбону.

**Ключові слова:** полімерні відходи, поліетилен, піроліз, технології переробки, паливні брикети, пластичні мастила.

### Вступ

Використання термічних методів переробки побутових і промислових відходів, з полімерними включно, дозволяє ефективно використовувати не лише теплову та електричну енергію, що при цьому генерується, а і значно зменшити об'єм цих відходів та їхній негативний вплив на навколишнє середовище [1], [2]. Основними термічними методами переробки відходів є спалювання, газифікація, плазмові технології та низькотемпературний піроліз. Кожен з наведених використовуваних термічних методів має свої недоліки та переваги [3]. Так, в табл. 1 наведені дані деяких тех-

нологій піролізного знешкодження промислових та побутових відходів з генерацією додаткової теплової або електричної енергії.

Таблиця 1

## Систематизація технологій піролізного знешкодження промислових та побутових відходів [2]

№	Вид відходів	Обладнання	Потужність, т/добу	Поточні продукти, що утворюються	Система очищення газів	Генерація енергії
1	газо-, нафто-добування: нафтошлами, відходи буріння	промислова установка УДК-2/реактор без доступу O <sub>2</sub> повітря	19,2...36,0	піролізні рідина, газ, пісок	фільтри для піролізних газів	додатковий блок регенерації тепла і вироблення електроенергії
2	гумотехнічні, полімерні	промислова установка FORTTRAN-2/ретортна піч	8,28	піролізні вуглець та масло, металевий корд	відсутня	відсутня
3	нафтові шлами	дослідний зразок технічної переробки шламів	7,20	рідкі вуглеводні, пісок, гравій	скруббер	теплова енергія у вигляді гарячої води
4	ТПВ, гума, пластмаса, органічні та медичні відходи	промислова установка ЕКОМАШ-01/комплекс еcomachine AMR-100/шахтний вертикальний реактор	6,00	піролізні рідина, газ та зола/сажа	триступеневе очищення газу	генераторний газ для газопоршневого газогенератора
5	гума, ганчір'я	промислова установка УПОР-1ш/реактор	6,00	піролізне паливо, зола	ц/б сепаратор для аерозолів	відсутня
6	гумотехнічні вироби, шини	промислова установка УТД-1/реактор без доступу O <sub>2</sub> повітря	2,40	піролізне паливо, металобрухт, пірокарбон	фільтри очищення газів	додатковий блок регенерації тепла і вироблення електроенергії
7	полімерні відходи ТПВ	промислова установка/ретортна обертова піч ТОВ «Терміон – Плюс» (м. Малин, Житомирська обл.)	10,0	піролізна рідина, газ, пірокарбон	відсутня	внутрішнє споживання для обігріву роторної печі

Переробці, зазвичай, підлягали промислові відходи з використанням піролізних установок періодичної дії (реактори, реторти, вертикальні або горизонтальні роторні печі), які працювали в інертній атмосфері або без доступу кисню повітря. Продуктами піролізу були: піролізна рідина, газова суміш, пірокарбон. Впровадження додаткових технологій до основної технології переробки відходів дозволяло регенерувати тепло та/або виробляти електроенергію.

З табл. 1 видно, що піролізні установки працюють практично за однаковими технологічними рішеннями. Відмінність процесу може стосуватись реакторного або іншого конструкторського рішення.

Піролізна установка, що використовувалась авторами для дослідження термічної переробки полімерних відходів, є класичною пілотною установкою, яка дозволяє:

- перевірити отримані раніше дані лабораторних досліджень піролізної переробки промислових та побутових органічних відходів, включно з полімерними;
- дослідити та оптимізувати технологічні параметри термічної переробки полімерних відходів різного типу, включно з їхніми різними сумішами;
- дослідити дію каталізаторів процесу термолізу полімерних відходів, насамперед природного походження.

Продуктами піролізної переробки промислових та побутових відходів є піролізний газ, піролізна рідина та пірокарбон. При цьому не має потреби в додатковій системі очищення піролізних газів. У випадку переробки гуми або гумово-технічних виробів (автомобільні шини) додатково, як продукт переробки, додається металобрухт, а сама технологія вимагає додаткового очищення піролізних газів, які при цьому утворюються, від токсичних речовин, а також оксидів сульфуру SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> та нітрогену NO<sub>x</sub>. Проте, практичне використання продуктів піролізу (піролізна рідина та піролізний газ), згідно з даними табл. 1, передбачає виробництво лише теплової та електричної енергії за допомогою газогенераторних та когенераційних установок. Продовжуючи ці дослідження, пов'язані з технологіями отримання альтернативних джерел енергії, вивчено перспективність впровадження можливих додаткових технологій з використанням отриманого пірокарбону. Допо-

внення додаткових технологій до основної технології переробки полімерних відходів дозволяє не лише генерувати тепло і виробляти електричну енергію, а і отримувати промислово-затребувані пластичні мастила та паливні брикети.

*Метою роботи* є розробка технології комплексного використання продуктів піролізу полімерних відходів та отримання альтернативних енергоресурсів — пластичних масил та паливних брикетів.

### Експериментальна частина

Використовувані полімерні відходи (ПЕНЦ 50 % + ПЕВЦ 50 %) вилучено з використаної упаковки промислових та продовольчих товарів на торгових майданчиках м. Вінниці. Суху та однорідну поліетиленову суміш, за необхідності, подрібнювали до розміру  $5,0 \times 5,0$  см з метою щільного її пакування в реактор піролізної установки. Експериментальне дослідження термодеструкції поліетиленової суміші проводили в реакторі періодичної дії за відсутності кисню повітря та каталізатора на пілотній установці, принципову схему якої показано на рис. 1 [2].

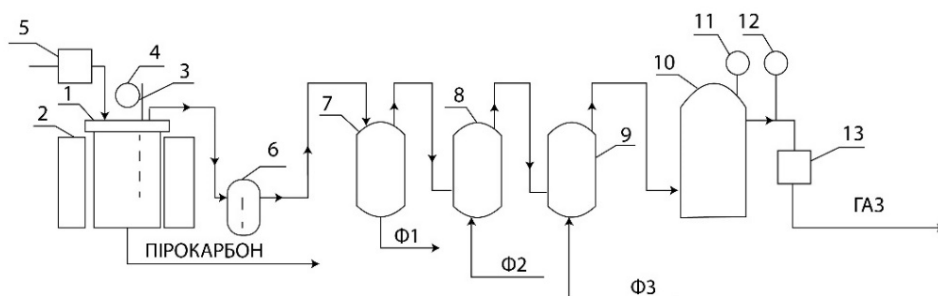


Рис. 1. Технологічна схема дослідно-промислової установки піролізу полімерних відходів: 1 — реактор піролізу; 2 — електронагрівальна піч; 3 — хромель-алюмелева термопара; 4, 11 — манометри; 5 — дозатор пластикових відходів; 6 — гідрозатвір; 7, 8 — теплообмінники-конденсатори; 9 — конденсатор-газовідділювач; 10 — газгольдер; 12 — газовий лічильник; 13 — компресор

Установка термодеструкції полімерних відходів (рис. 1) містить в своєму складі головний елемент реактор-піролізер — 1, нагрів якого забезпечувався піччю з електротенами — 2, температуру процесу в якому контролювали термоблоком з хромель-алюмелевою термопарою — 3, тиск в реакторі контролювали радіальним манометром ДМ 05100 — 4. Подачу сировини здійснювали з бункера, обладнаного дозувальним пристроєм — 5. Захист реактора від зворотного потрапляння повітря забезпечував гідрозатвір — 6. Установка обладнана теплообмінниками-конденсаторами — 7, 8 та конденсатором-газовідділювачем — 9, ємністю для збирання газу — газгольдером — 10, який обладнано манометром — 11. Кількість утвореного газу визначали газовим лічильником — 12. Відбір чи відкачування газів забезпечував компресор — 13.

*Загальна методика термодеструкції полімерної суміші (ПЕВЦ 50 % + ПЕВЦ 50 %).* Подрібнену суху масу полімерної суміші відходів ПЕВЦ 50 % + ПЕВЦ 50 % зважували (11,5 кг) та завантажували в реактор. Піроліз проводили в температурному інтервалі  $240 \dots 395$  °С впродовж 3,5 годин. При цьому продукти піролізу становили: піролізний газ — 5,57 % мас., піролізна рідина — 85,57 % мас. та пірокарбон — 3,83 % мас. [2].

*Отримання паливних брикетів.* Як вихідну сировину для виготовлення паливних брикетів (ПБ) використовували:

- пірокарбон (П) — продукт термодеструкції суміші поліетилену (ПЕНЦ 50 % + ПЕНЦ 50 %);
- відпрацьований гофрокартон (ГК) виробництва ПАТ «Київський паперово-картонний комбінат» (м. Обухів), попередньо подрібнений до розмірів  $5 \times 20$  см;
- тирсу деревну (ТД) листяних порід деревини розміром до 2,5 мм та вологістю у діапазоні 15...20 % мас.

Вологість паливних брикетів визначали на вагах волого-аналізатора Axis ADGS 50 (компанія AXIS, Польща). При цьому середня величина вологості не перебільшувала 14...17 % мас.

Визначення теплотворної здатності отриманих паливних брикетів проводили на калориметрі ІКА С200 (компанія ІКА, Німеччина) згідно з ДСТУ ISO 1928:2006 [6]. Встановлено, що максимальну теплоту згоряння (4715,5 кКал/кг) мають паливні брикети складу П : ГК : ТД = 6 : 2 : 2 [4] та можуть бути ефективно використанні для локальних котлів опалення у міській та сільській місцевостях.

*Отримання мастильних композицій.* Розробку нових мастильних композицій/пластичних масил проводили з використанням отриманої під час піролізної переробки суміші відходів

(ПЕВЦ 50 % + ПЕНЦ 50 %) пірокарбону та відходів інших промислових виробництв. Так, автори раніше дослідили регенерацію сумішевих сорбентів, що складалась з активованого вугілля та кізельгуру (АВ + К) [7]; вилучення сульфід- та гідросульфід-іонів з лужних розчинів сульфідного очищення сирої нафти [8]; іонів купруму(II) з промислових гальванічних вод процесом мідніння [9] та регенерацію відпрацьованих індустріальних олів [2]. Результати дослідження мастильних композицій подано у табл. 2.

Таблиця 2

Склад досліджених мастильних композицій

Склад, %	Композиція				
	ПМ-1	ПМ-2	ПМ-3	ПМ-4	ПМ-5
1. Констанлін-1	100,0	20,0	30,0	30,0	30,0
2. Індустріальна олива I-40А	—	10,0	10,0	10,0	10,0
3. I-40А + БТА, 0,1 %	—	—	10,0	—	5,0
4. $CuS_x$	—	10,0	—	—	10,0
5. Борорганічний додаток	—	20,0	10,0	10,0	10,0
6. Олеїнова кислота	—	10,0	10,0	10,0	10,0
7. Графіт	—	30,0	—	—	—
8. Псевдографіт	—	—	30,0	40,0	—
9. Пірокарбон	—	—	—	—	30,0

Дослідження антифрикційних та навантажувальних триботехнічних властивостей мастильних композицій ПМ-1...ПМ-5 (табл. 2) проводили на машинні тертя типу СМЦ-2 в парах тертя «сталь Ст-40Х-алюміній АЛ9» [2]. Отримані при цьому результати наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Навантажувальні та антифрикційні характеристики досліджених мастильних композицій

Навантаження $P, N$	Коефіцієнт тертя, $f_{тр}$				
	ПМ-1	ПМ-2	ПМ-3	ПМ-4	ПМ-5
3	0,055	0,040	0,053	0,044	0,042
4	0,048	0,033	0,045	0,037	0,035
5	0,041	0,026	0,036	0,029	0,028
6	0,035	0,021	0,029	0,023	0,022
7	0,030	0,018	0,024	0,020	0,019
8	0,024	0,017	0,021	0,018	0,017
9	0,020	0,016	0,019	0,017	0,017

Примітки: швидкість обертання сталюого ролика  $\nu = 125$  об./хв; пара тертя «Ст-40Х – АЛ 9».

Подані в табл. 3 дані вказують на те, що в дослідженому інтервалі навантажень 3,0...9,0 Н мастильні композиції (ПМ-2—ПМ-5) переважають за антифрикційними властивостями промислове мастило Констанлін-1 (ПМ-1) в 1,25...1,45 рази. Тобто, отримані дані вказують на ефективність використання отриманого пірокарбону в складі консистентних пластичних мастил, а також на можливість його використання як заміника промислового графіту марки ГС-1 в подібних мастильних композиціях.

### Результати досліджень

Проведені перспективні дослідження піролізної переробки сумішевих полімерних відходів (ПЕНЦ 50 % + ПЕВЦ 50 %) [2] суттєво доповнюють традиційну технологію піролізної переробки полімерів (див. рис. 1) шляхом введення додаткових технологій: технології одержання пластичних мастил (рис. 2) та технології одержання паливних брикетів (рис. 3). Необхідно констатувати, що зазначені раніше технології ґрунтуються на переробці пірокарбону, який отримано як один з продуктів піролізної переробки полімерних відходів за основною технологією (рис. 1). Введення таких додаткових технологій до головної технології піролізної переробки полімерних відходів дозволяє раціональніше та технологічніше використовувати отриманні альтернативні джерела енергії в єдиному виробничому циклі.

Технологія отримання пластичних мастил (рис. 2), є доповненням до головної технології піролізної переробки, технологічну схему установки якої показано на рис. 1.

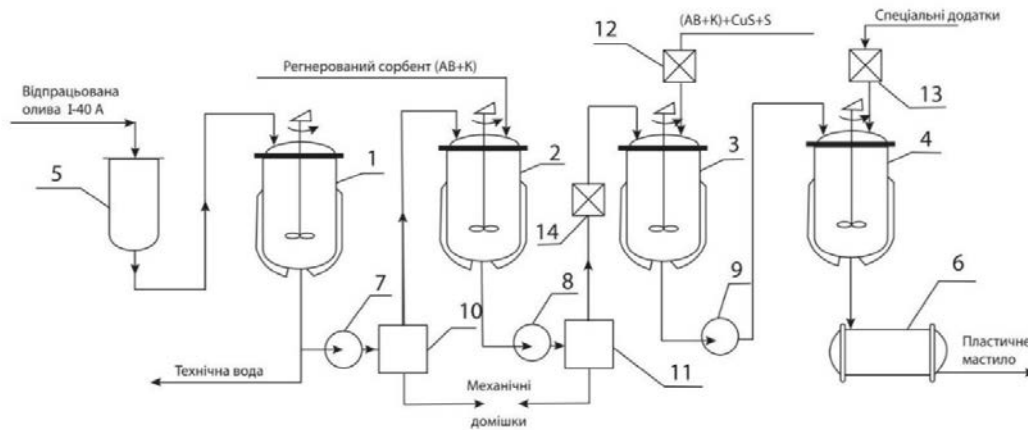


Рис. 2. Технологічна схема регенерації індустріальної оливи I-40A та одержання пластичного мастила: 1 — реактор очищення оливи I-40A; 2 — реактор-змішувач; 3, 4 — реактори-диспергатори; 5 — ємність для відпрацьованої оливи I-40 A; 6 — ємність для пластичного мастила; 7, 8, 9 — насоси; 10, 11 — фільтри для відділення каталізатора після очищення оливи; 12, 13, 14 — дозатори для рідких та сипких продуктів

Технологічна лінія (рис. 2) функціонує таким чином. Відпрацьована олива I-40A з ємності 5 подається в реактор 1 для розділення води від оливи. Реактор має електромеханічний перемішувальний привід та нагрівну оболонку для подачі теплоносія та нагрівання водно-оливної суміші до температури 55...60 °С. Вода після розділення подається на біохімічне очищення від залишків відпрацьованої оливи. Після відділення води та механічних домішок, олива I-40A подається відцентрованим насосом 7 через фільтр 10 в реактор-змішувач 2 для її сорбційного очищення регенованим сумішевим сорбентом (AB + K). Через певний час відпрацьований сорбент (AB + K) змінюється на новий, а старий подається в реактор-піролізер 1 (див. рис. 1) для термічного знешкодження. Після адсорбції очищена олива I-40A подається відцентрованим насосом 8 через фільтр 11 та дозатор 14 в реактор-диспергатор 3. В реактор-диспергатор 3, окрім дозованої кількості очищеної оливи I-40A, через дозатор 12 послідовно додають необхідну кількість Константіна-1, полісульфіда купруму(II), борорганічного додатку та пірокарбон (табл. 2).

Гомогенізацію, зазвичай, проводили за 40...45 °С впродовж 30 хвилин. Однорідну суміш відцентрованим насосом 9 подавали в реактор-диспергатор 4, а також через дозатор 13 необхідну кількість спеціального додатку (I-40A + БТА 0,1 %) та олеїнової кислоти (табл. 2). Температуру підвищували до 70...75 °С та перемішували суміш до повної її гомогенізації. Кінцевий продукт — отримані пластичні мастила подавали в ємність 6, обладнану термічною оболонкою для його підігріву та технологічного видалення за низьких температур в зимовий період часу.

На основі проведених авторами експериментальних та теоретичних досліджень розроблено додаткову технологію одержання паливних брикетів (рис. 3), до складу яких входив пірокарбон як продукт піролізної переробки полімерних відходів [5]. Основне технологічне обладнання складалось з двох реакторів, механічного або електромеханічного фільтр-преса та електросушарки, а сам процес проводили без нагрівання та додаткового введення зв'язувальних компонентів (рис. 3).

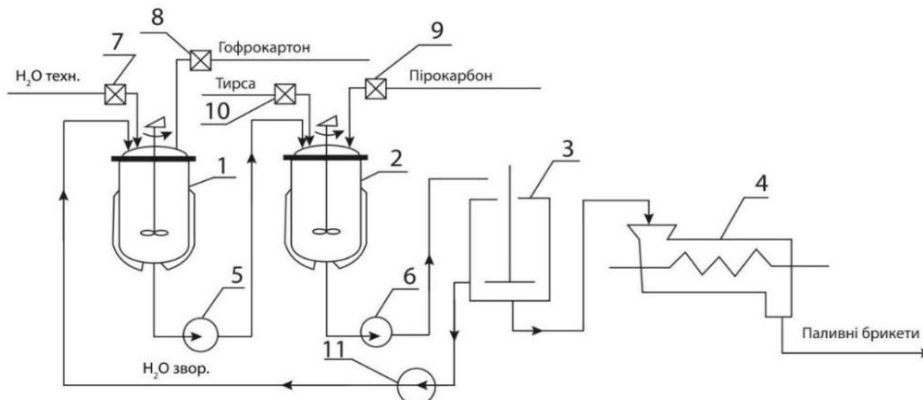


Рис. 3. Технологічна схема одержання паливних брикетів: 1 — реактор-гомогенізатор; 2 — реактор-диспергатор; 3 — механічний або електричний фільтр-прес; 4 — електросушарка; 5, 6, 11 — насоси; 7, 8, 9, 10 — дозатори для технічної води та сипких продуктів

Запропонована схема функціонує таким чином. В реактор 1, через дозатор 7, 8 завантажували розраховану кількість технічної води та подрібненого гофрокартону, включали електромеханічний перемішувальний привід і витримували суміш за кімнатної температури до утворення однорідної водно-колоїдної пульпи. Суміш, що утворилася, відцентрованим насосом 5 подавали в реактор-диспергатор 2. Окрім водно-гофрованої пульпи, в реактор-диспергатор 2, через дозатори 9, 10 завантажували відповідно розраховану кількість пірокарбону та тирси деревної, включали електромеханічний перемішувальний привід і витримували суміш за кімнатної температури до утворення однорідної пульпи чорно-сірого кольору. Отриману пульпу відцентрованим насосом 6 порційно подавали на механічний або електромеханічний фільтр-прес 3. Паливні брикети типу RUF, що утворилися, подавались на висушування на електросушарку 4, або висушувались в умовах навколишнього середовища шляхом складування під навісом з дотриманням оптимальної повітряної аерації. Фільтрат, що утворився при пресуванні пульпи, відцентрованим насосом 11 подавали в реактор 1 для приготування чергової порції робочої пульпи.

Дослідження комплексної піролізної переробки полімерних відходів показало, що підвищити ефективність використання отриманих альтернативних джерел енергії: піролізної рідини/синтез-нафти, газової суміші та пірокарбону, можна введенням до головної технології переробки полімерних відходів додаткових технологій: одержання пластичних мастил та одержання паливних брикетів. При цьому, важливим є не лише, поєднання розроблених технічних рішень (рис. 1—3), в єдиний технологічний цикл, а й можливість в рамках циркулярної економіки ефективно використовувати відходи інших промислових виробництв [10]. У вітчизняній та світовій практиці авторами не знайдено подібного використання продуктів піролізної переробки полімерних відходів для одержання іншої промислової продукції. Так, на рис. 4 показана логістична схема удосконаленої технології піролізної переробки полімерних відходів, яка ґрунтується на комплексному використанні та переробці основних продуктів піролізу. Водночас, окрім продуктів піролізу, ефективно використовуються інші відходи хімічної, нафтодобувної, деревообробної, паперової та харчової промисловостей. Таке залучення додаткових альтернативних енергетичних ресурсів (рис. 4) реалізовано завдяки удосконаленню розробленої основної технології піролізної переробки полімерних відходів та її доповненням додатковими технологіями комплексної переробки з метою отримання кінцевої промислової продукції: пластичних мастил та паливних брикетів.

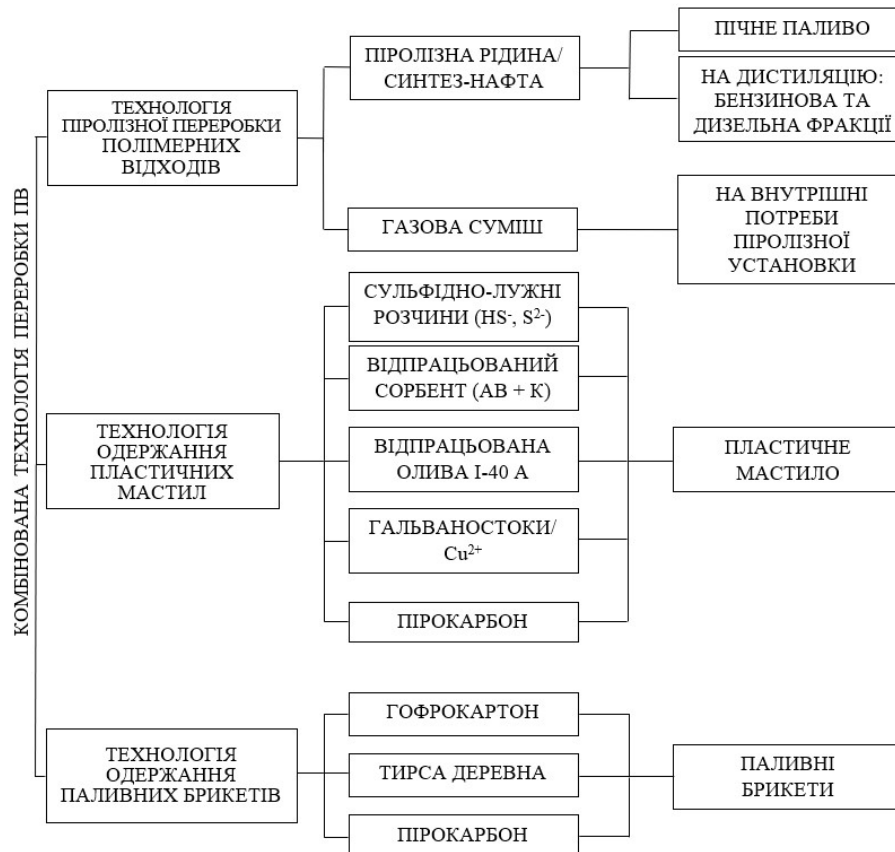


Рис. 4. Логістична схема удосконаленої технології піролізної переробки полімерних відходів

## Висновки

1. Удосконалено технологію піролізної переробки полімерних відходів шляхом додавання до основної технології переробки додаткових технологій переробки пірокарбону, що дозволило більш ефективно використовувати отримані альтернативні джерела енергії.

2. Розроблено технологію піролізної переробки полімерних відходів і одержання альтернативних джерел енергії: піролізної рідини/синтез-нафти, газової суміші та пірокарбону, що дає можливість безпосереднього ефективного їхнього використання як альтернативних джерел енергії або їхнього використання як вихідної хімічної сировини для подальшого перероблення.

3. Розроблено технологію спільної переробки пірокарбону, гофрокартону та деревної тирси, а також технологію отримання паливних брикетів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] D. J. Lee, J. S. Lu, and J. S. Chang, "Pyrolysis synergy of municipal solid waste (MSW). A review," *Bioresource Technology*, vol. 318, pp. 123912, December. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123912>.
- [2] Б. В. Коріненко, «Удосконалення технології піролізної переробки полімерних відходів.» дис. д-ра філософії, спец. 183 «Технології захисту навколишнього середовища», Вінниця, 2023.
- [3] 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, Серпень, 2021. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-157-4-7-19>.
- [4] А. П. Ранський, Б. В. Коріненко, О. А. Гордієнко, і Є. О. Євдокименко, «Альтернативна енергетика: отримання паливних брикетів з пірокарбону термодеструкції полімерних відходів,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 13-20, 2023. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-166-1-13-20>.
- [5] Б. В. Коріненко, і А. П. Ранський, «Альтернативна енергетика: отримання синтез-нафти при піролізній переробці поліпропіленових відходів,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 2, с. 6-14, Травень, 2023. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-167-2-6-14>.
- [6] ДСТУ ISO 1928:2006 (ISO 1928:1995, IDT), *Палива тверді мінеральні. Визначення найвищої теплоти згоряння методом спалювання в калориметричній бомбі та обчислення найнижчої теплоти згоряння.*
- [7] А. П. Ранський, О. С. Худоярова, О. А. Гордієнко, Р. Д. Крикливий, і Т. С. Тітов, «Спосіб регенерації суміші активного вугілля та кізельгуру від органічних забруднювачів,» Патент України C01B 32/30 (2017.01), C01B 32/36 (2017.01), B01J 20/34 (2006.01). №134391МПК (2018), C01B 32/30 (2017.01), C01B 32/36 (2017.01), B01J 20/34 (2006.01), 10.05.2019.
- [8] О. С. Худоярова, О. А. Гордієнко, Т. С. Тітов, А. П. Ранський, і Р. Д. Крикливий, «Знесірчення промислових сульфідно-лужних розчинів сумішевими сорбентами,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 13-22, Лютий, 2020. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-148-1-13-22>.
- [9] О. С. Худоярова, О. А. Гордієнко, Т. І. Сидорчук, Т. С. Тітов, і А. П. Ранський, «Модифікація поверхні сумішевих сорбентів в сульфід-іонами для очищення гальванічних промислових вод процесу мідніння,» *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*, № 2, с. 36-46, 2020. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2020.208054>.
- [10] A. 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, № 3, pp. 54-59, March, 01, 2023. <https://doi.org/10.12912/27197050/159628>.

Рекомендована кафедрою екології, хімії та технологій захисту довкілля ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 25.03.2024

**Коріненко Богдан Валерійович** — д-р філософії, молодший науковий співробітник відділу № 8 органічного та нафтохімічного синтезу, e-mail: b.korinenko.b@gmail.com ;

**Євдокименко Віталій Олександрович** — канд. хім. наук, старший дослідник, старший науковий співробітник, завідувач відділу № 8 органічного та нафтохімічного синтезу.

Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В. П. Кухаря НАН України, Київ;

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

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

**Коріненко Роксолана В'ячеславівна** — аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**B. V. Korinenko**<sup>1</sup>  
**V. O. Yevdokymenko**<sup>1</sup>  
**A. P. Ranskiy**<sup>2</sup>  
**O. A. Gordienko**<sup>2</sup>  
**R. V. Korinenko**<sup>2</sup>

## Alternative Energy. Notice III\* . Improved Technology of Pyrolysis Processing of a Mixture of Polymer Waste

<sup>1</sup>V. P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv;

<sup>2</sup>Vinnytsia National Technical University

*The possibility of complex processing was analyzed and an improved technology of low-temperature pyrolysis of mixed polymer waste (high-density polyethylene 50 % + low-density polyethylene 50 % (HDPE 50 % + LDPE 50 %)) was developed by adding to the main processing technology additional technological processes of processing the received pyrocarbon (production of plastic lubricants and fuel briquettes). The pyrolysis of a mixture of polyethylene waste (HDPE 50 % + LDPE 50 %) according to the basic technology was carried out in a reactor without the access of the air oxygen in the temperature range of 240...395 °C within 3.5 hours. At the same time, pyrolysis products consisted of: pyrolysis liquid — 85.57 % wt., pyrolysis gas — 5.57 % wt. and pyrocarbon — 3.83 % wt.*

*Processing of the obtained pyrocarbon for the purpose of obtaining plastic lubricants was carried out according to the technology, which includes the purification of the used I-40A oil from water and mechanical impurities, its regeneration and mixing with other components: Konstalin-1, polysulfide, oleic acid and a special technological additive (I-40A + BTA 0.1 %) until its complete homogenization.*

*Processing of the obtained pyrocarbon in order to obtain fuel briquettes was carried out according to the technology, which includes obtaining a homogeneous water-colloidal pulp from water and corrugated cardboard and mixing it in a reactor-disperser with the calculated amount of pyrocarbon and wood sawdust. The formed homogeneous pulp was fed to a mechanical or electromechanical press and fuel briquettes of the RUF type were obtained.*

*The developed and improved technology of polymer waste processing enables more complete and effective use of the generated alternative energy sources of pyrolysis liquid, pyrolysis gas and pyrocarbon.*

**Keywords:** polymer waste, polyethylene, pyrolysis, processing technologies, fuel briquettes, plastic lubricants.

**Korinenko Bohdan V.** — PhD, Junior Researcher of Department № 8 Organic and Petrochemical Synthesis, e-mail: b.korinenko.b@gmail.com ;

**Yevdokymenko Vitaliy O.** — Cand. Sc. (Chem.), Senior Researcher, Senior Research Fellow, Head of the Department № 8 Organic and Petrochemical Synthesis;

**Ranskiy Anatoliy P.** — Dr. Sc. (Chem.), Professor, Professor 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;

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

Notes: \* — Messages I and II are given, respectively, in works [4], [5].