

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-93>

УДК 665.6; 665.7

ГРИНИШИН ОЛЕГ

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-4103-3784>e-mail: oleh.b.hrynshyn@lpnu.ua**ЗНАК ЮРІЙ**

Національний університет «Львівська політехніка»

e-mail: yurii.z.znak@lpnu.ua**ЧЕРВІНСЬКИЙ ТАРАС**

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-0193-1507>e-mail: taras.i.chervinskyi@lpnu.ua

ПЕРЕРобКА ВУГЛЕводНЕвОї ЧАСТИНИ НЕДАВНО УТвОРЕНИХ НАФТОВИХ ШЛАМІВ МЕТОДОМ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПІРОЛІЗУ

В роботі наведено результати вивчення процесу низькотемпературного піролізу вуглеводневої частини недавно утворених («свіжих») нафтових шламів. Встановлено, що цим методом можна переробляти нафтові шлами та одержувати при цьому сировину для одержання товарних моторних палив.

Ключові слова: нафтові шлами, піроліз, піроконденсат, бензинова фракція, дизельна фракція, залишок.

GRYNYSHYN OLEG**ZNAK YURIY****CHERVINSKYI TARAS**

Lviv Polytechnic National University

PROCESSING OF THE HYDROCARBON PART OF RECENTLY FORMED OIL SLUDGE BY LOW-TEMPERATURE PYROLYSIS METHOD

This paper presents an approach to the utilization of the hydrocarbon component of freshly formed oil sludges by applying the low-temperature pyrolysis method. The main advantage of this method is its versatility in processing raw materials regardless of their composition. The study used oil sludges that arose during the oil refining process at the enterprise PJSC "Naftokhimik Prykarpattya", located in the city of Nadvorna, Ivano-Frankivsk region. Pyrolysis was carried out in a laboratory batch-type installation at a temperature of 420°C in a sealed metal reactor equipped with a water condenser and a receiving flask. As a result of thermal destruction, three main products were formed: liquid pyrocondensate, solid residue in the reactor and gaseous products. The yield of the liquid fraction was 84.0% of the mass of the starting raw materials. The resulting pyrocondensate had a sulfur content of 0.95% by mass and iodine number 61.5 g I₂/100 g, which indicates the presence of unsaturated hydrocarbons. The low content of metals in the pyrocondensate and its fractions is a positive feature that facilitates the further use of the product in catalytic processes. The pyrocondensate was divided into fractions: gasoline, diesel and residual. To establish the potential areas of use of each fraction, their physicochemical properties were studied. The gasoline fraction is characterized by a high content of sulfur and unsaturated compounds, therefore it is advisable to use it as a component of motor gasoline after appropriate hydrotreating and reforming. The diesel fraction, similarly, after purification can be used for the production of commercial diesel fuel. The residual fraction is suitable for the production of fuel oil or as a component of lubricants. As for the solid pyrolysis residue, it is recommended to use it in road construction – in particular, for the formation of the lower layers of the roadbed. The proposed approach allows not only to effectively dispose of oil sludge, but also solves an important environmental problem, while increasing the resource base for the production of petroleum products.

Keywords: oil sludge, pyrolysis, pyrocondensate, gasoline fraction, diesel fraction, residue.

Стаття надійшла до редакції / Received 22.10.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.11.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Нафтові шлами становлять основну масу нафтовмісних відходів, які належать до категорії найбільш небезпечних серед промислових залишків. Щороку обсяги таких відходів неухильно зростають, що загострює проблему їх ефективної та безпечної утилізації. Зазвичай нафтові шлами зберігаються у спеціально обладнаних ставках, розташованих поблизу нафтопереробних підприємств або нафтовидобувних об'єктів. Таке зберігання призводить до негативного впливу на навколишнє середовище – забруднюються ґрунти, підземні води та атмосфера. Хімічний і фізичний склад шламів варіюється в залежності від технологічних процесів, умов і тривалості їхнього зберігання. Згідно з цією ознакою, нафтові шлами поділяють на свіжоутворені (або «свіжі») та такі, що зберігались тривалий час у накопичувачах. З одного боку, ці відходи становлять екологічну загрозу, з іншого – можуть розглядатися як вторинне джерело вуглеводневої сировини для подальшої переробки. Саме тому надзвичайно актуальним є завдання розробки ефективних методів поводження з нафтовими шлами з метою їх безпечного та доцільного використання.

Аналіз досліджень та публікацій

В основу відомих технологій утилізації нафтовмісних шламів (НВШ) закладено першочергове вилучення вуглеводневої складової за допомогою центрифугування [1]. Отриману вуглеводневу складову надалі скеровують для одержання паливної сировини [2], а інколи – для сумісного перероблення з сировою нафтою на нафтопереробних підприємствах [3]. Спалювання вуглеводневої складової є екологічно недоцільним, оскільки призводить до утворення токсичних димових газів, золи, які здатні забруднювати

атмосферу довкілля [4-7]. Технології термічної утилізації нафтовмісних шламів, на сьогодні залишаються не достатньо вивченими та поширеними через відсутність фінансування, обладнання й зацікавленості ними з сторони уряду держави. На особливу увагу заслуговує процес низькотемпературного піролізу вуглеводневої сировини. Основне призначення процесу – це термічний розклад вуглецевмісних відходів у безкисневому середовищі для отримання газоподібних, рідких і твердих вуглецевих матеріалів. На відміну від спалювання, процес піролізу не передбачає горіння, а забезпечує розкладання складних молекул на простіші продукти. Перевагами цього методу є екологічність (мінімальні викиди в атмосферу за рахунок відсутності прямого горіння), енергетична ефективність (піролізний газ можна використовувати для підтримання температури процесу), відновлення ресурсів (замість спалювання або захоронення вуглецевмісних відходів перетворюються у корисні продукти), гнучкість (метод підходить для переробки різних типів змішаних відходів) [8]. На практиці низькотемпературний піроліз широко застосовується у переробці зношених автомобільних шин, упаковок і пластикових відходів та створенні установок для комплексної утилізації міських твердих побутових відходів. [9]. Низькотемпературний піроліз – це технологія майбутнього для переробки важкорозкладних відходів. Вона поєднує економічну вигоду, енергетичну ефективність та екологічну безпеку. Подальший розвиток цього напрямку дозволить суттєво зменшити антропогенний вплив на довкілля. Водночас, у джерелах літератури є мало інформації про можливість переробки НВШ низькотемпературним піролізом. На наш погляд, вивчення такого процесу для утилізації нафтовмісних шламів дозволило б певною мірою підтримати паливний ринок додатковою кількістю компонентів рідких палив з піроконденсатів піролізу НВШ.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження процесу низькотемпературного піролізу недавно утворених («свіжих») нафтових шламів, визначити основні властивості утворених нафтопродуктів і запропонувати раціональні шляхи їх використання.

Виклад основного матеріалу

Для дослідження було використано свіжоутворені нафтові шлами, що виникли внаслідок технологічних процесів переробки нафти на підприємстві ПАТ «Нафтохімік Прикарпаття», розташованому в місті Надвірна Івано-Франківської області. За своїми фізичними властивостями такі шлами являють собою щільну пастоподібну масу, яка містить значну кількість води та механічних домішок різного розміру і походження. Деталізований опис складу та властивостей цієї сировини представлено у джерелі [10].

Для виділення органічної (вуглеводневої) складової нафтових шламів застосовували метод промивання гарячою водою температурою 90 °С. Отриману в результаті відмивання вуглеводневу фазу піддавали осушенню за допомогою хлориду кальцію та фільтрували за температури 80–90 °С. З урахуванням результатів дериватографічного аналізу раніше досліджених зразків подібного типу, для процесу низькотемпературного піролізу було обрано температуру 420 °С [11].

Піроліз органічної частини проводився у лабораторній установці періодичної дії, яка включала металевий реактор, систему охолодження та збору конденсатів, а також блок регулювання температурного режиму. Внаслідок термічної обробки отримували три основні продукти: рідкий піроконденсат – суміш вуглеводневих сполук, що утворилися в результаті термодеструкції, твердий залишок у реакторі та газоподібну фазу. Подальший аналіз зосереджувався на дослідженні фізико-хімічних характеристик піроконденсату та твердого залишку. Матеріальний баланс процесу піролізу вуглеводневої фракції наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Матеріальний баланс процесу піролізу проб свіжого нафтошламу

Сировина і продукти	К-сть, % мас.
Взято:	
Нафтошлам	100,0
Отримано:	
Піроконденсат	84,0
Залишок	9,6
Газ і втрати	6,4
Всього	100,0

Піроконденсат, отриманий у процесі піролізу, являє собою прозору рідину світло-коричневого кольору з характерним запахом, типовим для продуктів термічної деструкції органічних сполук. Основні фізико-хімічні властивості цієї рідини наведено в табл. 2. Підвищене значення йодного числа вказує на присутність значної кількості ненасичених вуглеводнів у складі піроконденсату. Значення показника заломлення свідчить про переважання ароматичних вуглеводнів, що також підтверджується заниженою температурою застигання. У той же час, низька температура спалаху обмежує можливість безпосереднього використання піроконденсату як пічного або котельного палива без попередньої обробки. Температура початку кипіння, яка становить 63 °С, перевищує аналогічний показник для стандартної нафти, що свідчить про особливості складу даної фракції.

Таблиця 2

Характеристика піроконденсату піролізу вуглеводневої частини свіжого нафтошляму

Показник	Значення показника
Зовнішній вигляд	В'язка рідина коричневого кольору
Густина, кг/м ³	849,6
Показник заломлення	1,5076
Вміст сірки, % мас.	0,95
Температура застигання, °C	-8
Йодне число, г I ₂ /100 г	61,5
Температура спалаху в закритому тиглі, °C	28

На наступному етапі дослідження було здійснено фракційне розділення піроконденсату на три основні вузькі фракції: бензинову, дизельну та залишкову. Метою цього розподілу було дослідження фізико-хімічних характеристик кожної з них з подальшим визначенням потенційних напрямків практичного використання. Основні показники бензинової фракції, яка випаровується при температурах до 200 °C, наведено в табл. 3.

Аналіз складу показав, що дана фракція має підвищений вміст важчих компонентів у порівнянні з традиційним бензином. Вміст сірки в ній перевищує встановлені нормативні обмеження для моторних бензинів, що робить її непридатною для прямого використання в автомобільному паливі. Крім того, високе йодне число свідчить про значну кількість ненасичених вуглеводнів, що також вимагає додаткової обробки. Таким чином, застосування цієї фракції можливе лише після проведення глибшої переробки, зокрема гідроочистки та, за потреби, каталітичного риформінгу.

Таблиця 3

Характеристика бензинової фракції піроконденсату піролізу вуглеводневої частини свіжого нафтошляму

Показник	Значення
Зовнішній вигляд	Прозора рідина світло-жовтого кольору
Вихід на піроконденсат, % мас.	21,4
Густина, кг/м ³	758
Показник заломлення	1,5012
Вміст сірки, % мас.	0,62
Йодне число, г I ₂ /100 г	73,7

Дизельна фракція піроконденсату, яка википає в температурному інтервалі 200-350 °C, відзначається високою температурою спалаху, що відповідає встановленим стандартам для дизельних палив (детальні характеристики подано в табл. 4). Оцінка низькотемпературних властивостей – зокрема температур помутніння та застигання – засвідчує можливість застосування цієї фракції у виробництві літніх марок дизельного пального. Водночас, значна концентрація сірки, а також наявність ненасичених вуглеводнів, що знижують стабільність і якість палива, потребують впровадження додаткових етапів очищення, зокрема гідроочистки, для доведення продукту до рівня, придатного для практичного використання в енергетичних чи транспортних системах.

Таблиця 4

Характеристика дизельної фракції піроконденсату піролізу вуглеводневої частини свіжого нафтошляму

Показник	Значення
Зовнішній вигляд	Прозора рідина жовтого кольору
Вихід на піроконденсат, % мас.	56,9
Густина, кг/м ³	842
Показник заломлення	1,5144
Йодне число, г I ₂ /100 г	60,4
Вміст сірки, % мас.	0,95
Температура помутніння, °C	-7
Температура застигання, °C	-12
Температура спалаху в закритому тиглі, °C	72

Залишкова фракція, що утворюється після перегонки піроконденсату при температурі вище 350 °C, являє собою густу, в'язку масу, за зовнішніми характеристиками схожу на пластичне мастило (характеристики наведено в табл. 5). У складі цієї фракції виявлено значну кількість ненасичених вуглеводнів, що підтверджується підвищеним йодним числом. Крім того, спостерігається високий вміст сірки, що обмежує можливість її безпосереднього використання в паливній промисловості. Поєднання низької температури застигання з високою температурою спалаху створює певні складнощі при розгляді цієї фракції як компонента для паливних мазутів. Однак додавання її в невеликих кількостях до мазутних композицій цілком можливе, за умови проведення додаткових експериментальних досліджень щодо стабільності та сумісності. Одним із потенційних напрямків використання цієї залишкової фракції є застосування у виробництві пластичних

мастильних матеріалів, зокрема консерваційного призначення. Такий варіант використання потребує подальшого вивчення з метою оцінки його технічної ефективності та економічної доцільності.

Таблиця 5

Характеристика залишку піроконденсату піролізу вуглеводневої частини свіжого нафтошляму

Показник	Значення
Зовнішній вигляд	В'язкий продукт темно-коричневого кольору
Вихід на піроконденсат, % мас.	21,7
Густина, кг/м ³	938
Показник заломлення	1,5297
Вміст сірки, % мас.	1,42
Йодне число, г I ₂ /100 г	46,2
Температура застигання, °C	+12
Температура спалаху у відкритому тиглі, °C	131

Для встановлення вмісту окремих хімічних елементів у піроконденсаті, його фракціях та залишковій частині було використано метод рентгенофлуоресцентного спектрального аналізу, результати якого наведено в табл. 6. Аналітичні вимірювання здійснювали за допомогою високоточного приладу Elvax Light SDD. Отримані дані свідчать про загалом низький вміст металевих компонентів у всіх досліджених зразках. Серед виявлених елементів присутні переважно випадкові домішки, зокрема кальцій (Ca). Важливою позитивною ознакою є відсутність у піроконденсаті та його фракціях токсичних важких металів, таких як ванадій (V) та нікель (Ni), які зазвичай характерні для важких залишкових нафтових продуктів. Згідно з усталеними уявленнями про розподіл металів у процесі фракційної перегонки, виявлено тенденцію до зростання концентрації металевих домішок у фракціях із вищими температурами кипіння. Загалом, невисокий рівень металів у піроконденсаті та його фракційних складниках є позитивним фактором, що забезпечує можливість їх подальшої глибокої переробки із застосуванням каталізаторів без значного ризику їх дезактивації.

Таблиця 6

Вміст окремих хімічних елементів у піроконденсаті піролізу вуглеводневої частини свіжого нафтошляму та його фракціях

Елемент	Вміст елемента, ppm			
	піроконденсат	бензинова фракція	дизельна фракція	залишок
Ca	27,4	7,4	23,8	55,3
Cu	13,0	7,2	12,9	18,6
Zn	1,0	0,2	0,9	2,0
Cr	1,5	0,5	0,9	3,7
Fe	2,1	0,4	0,5	7,8
Ni	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
V	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Mn	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ba	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mo	4,9	< 0,3	2,8	14,7
Pb	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0

Для дослідження основних характеристик твердого залишку, який утворюється внаслідок піролізу вуглеводневої фракції нафтових шламів, було проведено визначення зольності, вмісту летких речовин і вологи, а також проведено елементний аналіз за допомогою рентгенофлуоресцентного методу (результати наведені у табл. 7). Аналіз складу показав, що тверда фаза містить різноманітні хімічні елементи – загалом ідентифіковано 16 видів, серед яких домінують кальцій (Ca), кремній (Si), сірка (S) та цинк (Zn). Причини появи саме цих елементів у зольному залишку поки що остаточно не встановлені, проте існує припущення, що вони потрапляють у нафтові шлами як разом із нафтою, так і з мінеральними домішками механічного походження. Порівняння матеріального балансу піролізу (табл. 1) з вмістом хімічних елементів у піроконденсаті (табл. 6) та у твердому залишку (табл. 8) свідчить про те, що більша частина металевих компонентів, які містяться у вуглеводневій частині нафтошляму, переходить у тверду фазу під час проведення піролізного процесу.

Таблиця 7

Загальна характеристика твердого залишку піролізу вуглеводневої частини свіжих нафтошламів

Показник	Значення
Зольність, % мас.	18,1
Вміст вологи, % мас.	0,26
Вміст летких, % мас.	9,7

**Вміст окремих хімічних елементів у золі залишку,
отриманого при піролізі вуглеводневої частини свіжого нафтошламу**

Елемент	Вміст, ppm
Mg	4758,4
Al	3815,2
Si	140718
P	71845
S	87215
K	2818,6
Ca	194226
Ti	1845,2
Cr	284,3
Mn	514,6
Fe	26145
Ni	694,2
Cu	15372
Zn	138511
Sr	284,3
Pb	23,8

Враховуючи хімічний склад і фізико-механічні властивості твердого залишку, утвореного в процесі низькотемпературного піролізу органічної фракції нафтових шламів, пропонується його використання у дорожньому будівництві, зокрема для формування нижніх шарів дорожнього покриття. Окрім цього, одним із перспективних напрямків є застосування залишку для виробництва твердопаливних брикетів. Проте для впровадження такого способу необхідно провести додаткові дослідження, спрямовані на оцінку технологічної ефективності та екологічної безпеки.

Висновки з даного дослідження

і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Було підтверджено принципову можливість переробки вуглеводневої фракції нафтових шламів, що утворюються під час нафтопереробки, методом низькотемпературного піролізу з одержанням як рідких, так і твердих продуктів, придатних для подальшого використання у виробництві моторних палив та інших матеріалів. Процес піролізу вуглеводневої складової здійснювали при температурі 420 °С, що дозволило отримати 84,0 % маси у вигляді піроконденсату, 9,6 % твердого залишку та 6,4 % газоподібних продуктів піролізу. Світлі фракції піроконденсату, отримані після фракційного розділення, можуть виступати як сировина для виробництва товарних моторних палив. Однак для їхнього використання необхідне додаткове гідрооблагородження, що передбачає гідрування ненасичених вуглеводнів, зниження вмісту сірки та підвищення октанового числа бензинової фракції. Залишкова фракція піроконденсату може застосовуватися як компонент мазуту або як добавка до пластичних мастил. Твердий залишок, отриманий у процесі піролізу нафтових шламів, рекомендується використовувати у дорожньому будівництві для формування нижніх шарів дорожнього покриття.

Для подальшого вдосконалення технології піролізу вуглеводневої частини нафтових шламів виділяються два перспективні напрямки. Перший полягає у дослідженні процесу піролізу бруто-нафтошламів, тобто без попереднього виділення органічної фракції. Другий напрямок – впровадження проточного реактора безперервної дії, що, на нашу думку, дозволить підвищити вихід світлих продуктів із нафтових шламів.

Література

1. Johnson O. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. / O. Johnson, A. Affam // *Environmental Engineering Research*. – 2019. – Vol. 24, no. 2. – P. 191–201. – Mode of access: <https://doi.org/10.4491/eer.2018.134> (date of access: 07.08.2018). – Title from screen.
2. Aitkaliyeva G. Oil Sludge and Methods of Its Disposal. [Online] / G. Aitkaliyeva, M. Yelubay, A. Ismailova, S. Massakbayeva, A. Baisariyeva // *Pol. J. Environ. Stud.* – 2022. – Vol. 31, no. 6. – P. 5563–5569. – Mode of access: <https://doi.org/10.15244/pjoes/152226> (date of access: 19.07.2022). – Title from screen.
3. Humadi J.I. Recovery of fuel from real waste oily sludge via a new eco-friendly surfactant material used in a digital baffle batch extraction unit. [Online] / J.I. Humadi, S.A. Jafar, N.S. Ali, M.A. Ahmed, M.J. Mzeed, R.J. Al-Salhi, N.M. Cata Saady, H.Sh. Majdi, S. Zendehboudi, T.M. Albayati // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13. – Mode of access: www.nature.com/scientificreports (date of accessed: 19.07. 2023). – Title from screen.
4. Chelyadyn V. Sludge of Oil Refining Units and Their Processing. / V.Chelyadyn, M.Bogoslavets, L. Chelyadyn; O. Poznyak, P. Novosad // *Journal of Ecological Engineering*. – 2020. – Vol. 21, no. 7. – P. 169–177. – Mode of access: <https://doi.org/10.12911/22998993/125556> (date of access: 15.08.2020). – Title from screen.
5. Pauzi N.N.M. A review on the treatment of petroleum sludge and use as construction materials. / N.N.M. Pauzi, M.S.A. Shah // *Civil and Sustainable Urban Engineering*. – 2022. – Vol. 2, no. 1. – P. 12–20. – Mode of access: <https://doi.org/10.53623/csue.v2i1.74> (date of access: 27.04.2022). – Title from screen.

6. Yuxiao S. Physical pretreatment of petroleum refinery wastewater instead of chemicals addition for collaborative removal of oil and suspended solids. / S. Yuxiao, L. Yi, C. Jianqi, H. Yuan, L. Hao, Y. Wei, Y. Qiang, H. Jiandong, Y. Bichuan, W. Dun, X. Weinan, W. Hualin // *Journal of Cleaner Production*, Elsevier. – 2021. – Vol. 278, no. 12. – P. 12–38. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123821> (date of access: 15.08.2020). – Title from screen.
7. Johnson O. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. / O. Johnson, A. Affam // *Environmental Engineering Research*. – 2019. – ; Vol. 24, no. 2. – P. 191–201. – Mode of access: <https://doi.org/10.4491/eer.2018.134> (date of access: 07.08.2018). – Title from screen.
8. Czajczyńska D. Use of pyrolytic gas from waste tire as a fuel: a review. / D. Czajczynska, R. Krzyzyska, H. Jouhara, N. Spencer. // *Proceedings of the ICE – Energy*. – 2017. – no.134. – P. 1121–1131. Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.042> (date of access: 23.05.2017). – Title from screen.
9. Dezhen Ch. Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review / Chen Dezhen, Yin Lijie, Huan Wang, He Pinjing // *Waste Management*. – 2014. – [Vol. 34, no. 12](#). – P. 2466–2486. Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.08.004> (date of access: 15.12.2014). – Title from screen.
10. Знак Ю. З. Вивчення складу та властивостей нафтошламів, утворених внаслідок переробки нафти / Ю.З. Знак, О.Б. Гринишин, Т.І. Червінський. // *Chemistry, Technology and Application of Substances*. – 2023. – Vol. 6, no. 1. – P. 69-74. Mode of access: <https://doi.org/10.23939/ctas2023.01.069>. – Title from screen.
11. Grynysyn O. Processing of oily waste. 1. low-temperature pyrolysis of the organic part of oil sludge / O. Grynysyn, Yu. Znak, T. Chervinsky. // *Chem. Chem. Technol.* – 2025. – Vol. 19, no. 3. – P. 557–563. Mode of access: <https://doi.org/10.23939/chcht19.03.557> (date of access: June 03. 06. 2025). – Title from screen.

References

1. Johnson O. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. / O. Johnson, A. Affam // *Environmental Engineering Research*. – 2019. – Vol. 24, no. 2. – P. 191–201. – Mode of access: <https://doi.org/10.4491/eer.2018.134> (date of access: 07.08.2018). – Title from screen.
2. Aitkaliyeva G. Oil Sludge and Methods of Its Disposal. [Online] / G. Aitkaliyeva, M. Yelubay, A. Ismailova, S. Massakbayeva, A. Baisariyeva // *Pol. J. Environ. Stud.* – 2022. – Vol. 31, no. 6. – P. 5563–5569. – Mode of access: <https://doi.org/10.15244/pjoes/152226> (date of access: 19.07.2022). – Title from screen.
3. Humadi J.I. Recovery of fuel from real waste oily sludge via a new eco-friendly surfactant material used in a digital baffle batch extraction unit. [Online] / J.I. Humadi, S.A. Jafar, N.S. Ali, M.A. Ahmed, M.J. Mzed, R.J. Al-Salhi, N.M. Cata Saady, H.Sh. Majdi, S. Zendeboudi, T.M. Albayati // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13. – Mode of access: www.nature.com/scientificreports (date of accessed: 19.07. 2023). – Title from screen.
4. Chelyadyn V. Sludge of Oil Refining Units and Their Processing. / V.Chelyadyn, M.Bogoslavets, L. Chelyadyn; O. Poznyak, P. Novosad // *Journal of Ecological Engineering*. – 2020. – Vol. 21, no. 7. – P. 169–177. – Mode of access: <https://doi.org/10.12911/22998993/125556> (date of access: 15.08.2020). – Title from screen.
5. Pauzi N.N.M. A review on the treatment of petroleum sludge and use as construction materials. / N.N.M. Pauzi, M.S.A. Shah // *Civil and Sustainable Urban Engineering*. – 2022. – Vol. 2, no. 1. – P. 12–20. – Mode of access: <https://doi.org/10.53623/csue.v2i1.74> (date of access: 27.04.2022). – Title from screen.
6. Yuxiao S. Physical pretreatment of petroleum refinery wastewater instead of chemicals addition for collaborative removal of oil and suspended solids. / S. Yuxiao, L. Yi, C. Jianqi, H. Yuan, L. Hao, Y. Wei, Y. Qiang, H. Jiandong, Y. Bichuan, W. Dun, X. Weinan, W. Hualin // *Journal of Cleaner Production*, Elsevier. – 2021. – Vol. 278, no. 12. – P. 12–38. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123821> (date of access: 15.08.2020). – Title from screen.
7. Johnson O. Petroleum sludge treatment and disposal: A review. / O. Johnson, A. Affam // *Environmental Engineering Research*. – 2019. – ; Vol. 24, no. 2. – P. 191–201. – Mode of access: <https://doi.org/10.4491/eer.2018.134> (date of access: 07.08.2018). – Title from screen.
8. Czajczyńska D. Use of pyrolytic gas from waste tire as a fuel: a review. / D. Czajczynska, R. Krzyzyska, H. Jouhara, N. Spencer. // *Proceedings of the ICE – Energy*. – 2017. – no.134. – P. 1121–1131. Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.042> (date of access: 23.05.2017). – Title from screen.
9. Dezhen Ch. Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review / Chen Dezhen, Yin Lijie, Huan Wang, He Pinjing // *Waste Management*. – 2014. – [Vol. 34, no. 12](#). – P. 2466–2486. Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.08.004> (date of access: 15.12.2014). – Title from screen.
10. Знак Ю. Study of the composition and properties of oil sludges formed as a result of oil processing / Yu. Z. Знак, О. Б. Гринишин, Т. І. Червінський. // *Chemistry, Technology and Application of Substances*. – 2023. – Vol. 6, no. 1. – P. 69-74. Mode of access: <https://doi.org/10.23939/ctas2023.01.069>. – Title from screen.
11. Grynysyn O. Processing of oily waste. 1. low-temperature pyrolysis of the organic part of oil sludge / O. Grynysyn, Yu. Znak, T. Chervinsky. // *Chem. Chem. Technol.* – 2025. – Vol. 19, no. 3. – P. 557–563. Mode of access: <https://doi.org/10.23939/chcht19.03.557> (date of access: June 03. 06. 2025). – Title from screen.