

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕКАНТАЦІЇ ТА ВАКУУМНОЇ ДИСТИЛЯЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Соколов А.В., Улицький О.А., Д'яченко Н.О.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
natalidyachenko1969@gmail.com

Вивчені особливості впровадження технологій декантації та вакуумної дистиляції небезпечних речовин для підвищення рівня екологічної безпеки в умовах аварійного розливу нафтопродуктів як наслідок руйнувань, завданих російськими агресорами обстрілами паливно-мастильних баз, нафтопереробних заводів та авіаційної інфраструктури України, що призвело до забруднення ґрунтів, підземних та поверхневих вод. Під час аварійного розливу нафтопродуктів важливо своєчасно вжити заходів для забезпечення безпечного видалення забруднюючих матеріалів та їх утилізації або переробки з наступним використанням. На сьогодні технічні засоби, що використовуються в Україні, дозволяють частково ліквідувати забруднення навколишнього природного середовища, але вони потребують переробки або утилізації відходів, забруднених нафтопродуктами, що не розв'язує проблему повною мірою. Проте нині в країні не повною мірою використовуються новітні технології декантації, регенерації та вакуумної дистиляції як технологій оздоровлення довкілля. Аналіз існуючого стану впровадження таких технологій засвідчив, що застосування системи очищення ґрунту шляхом вакуумної дистиляції найефективнішими є технології «Harbauer» (запатентована в Європі та в США), а також «Masner Grandbow», розроблені з метою знешкодження та термічної переробки нафтовмісних та олійовмісних відходів, що містять кислі гудрони, забруднену олією землю, емульсійні шлами тощо. Отже, вони можуть використовуватися під час рекультивативної забруднених ґрунтів.

Окреслені особливості пілотного проєкту, спрямованого на вивчення можливостей та доцільності використання вакуумної дистиляції для рекультивативної забрудненого нафтопродуктами ґрунту, а також дозволив продемонструвати ефективність використання інноваційних технологій з метою зменшення забруднення. Отримані результати засвідчують, що вони можуть застосовуватися в різних галузях промисловості, зокрема, нафтогазовій і газодобувній; управлінні промисловими відходами; оздоровленні навколишнього середовища. Означені завдання проєкту та методологія робіт. *Ключові слова:* декантація, вакуумна дистиляція, ремедіація, технологія, забруднення, екологічна небезпека, нафтопродукти.

Introduction of decantation and vacuum distillation technology for hazardous substances to improve environmental safety.
Sokolov A., Ulytsky O., Diachenko N.

The paper presents the results of an analysis of the current state of implementation of decantation and vacuum distillation technologies for hazardous substances to improve environmental safety in the event of an accidental oil spill during the destruction caused by shelling. Most of the destruction in Ukraine occurred at fuel and lubrication depots, refineries, and aviation infrastructure, which led to contamination of soil, groundwater, and surface water. In the event of an accidental oil spill, it is important to take measures to ensure the safe removal, cleanup of contaminated materials and their disposal or recycling for further use. The technical means used in Ukraine allow for partial elimination of environmental pollution, but these pollutions require recycling or disposal of oil-contaminated waste, which does not solve the problem fundamentally. However, the state is still in no hurry to take steps to use the latest decantation, regeneration and vacuum distillation technologies as environmental remediation technologies. The analysis of the current state of implementation of these technologies showed that an example of the application of a soil cleanup system by vacuum distillation is the «Harbauer» (patented in Europe and the United States) and «Masner Grandbow» technologies, which are designed for the neutralization and thermal processing of oil and oil-containing waste containing acid tar, oil-contaminated soil, emulsion sludge, etc. In other words, they can be used for remediation of contaminated soils.

That is why the study proposes to create a pilot project to test the feasibility and expediency of using vacuum distillation for the remediation of oil-contaminated soil, which would demonstrate the effectiveness of this innovative technology in reducing pollution. The project objectives and methodology have been formulated. The results obtained can be applied in various industries, including oil and gas; industrial waste management; and environmental rehabilitation. *Key words:* decantation, vacuum distillation, remediation, technology, pollution, environmental hazard, oil products.

Постановка проблеми. Згідно з даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України [1] за період з 24 лютого 2022 р. до травня 2023 р. під час військової агресії РФ в Україні зруйновано 35 нафтобаз, що призвело до викидів забруднюючих речовин (ЗР) у кількості 499 тис. т. Ці викиди призвели не тільки до завдання матеріальних збитків довкіллю на 3,3 млрд. грн., але, в першу чергу, забруднили ґрунти, поверхневі та підземні

води і атмосферу. Більшість руйнувань в Україні припало на паливно-мастильні бази та нафтопереробні заводи. У перші дні повномасштабного вторгнення на Київщині одразу були пошкоджені два нафтоховища. У Васильківському районі спалахнуло сховище нафтопродуктів «КЛО», зруйновано нафтобазу «Амік» у м. Бородянка [2] (рис. 1), зруйновані нафтобази у селах Крячки та Калинівка. В останньому випадку були знищені 22 резервуари

з нафтопродуктами, 8 залізничних естакад з вагонами-цистернами, трубопроводи. Завдані збитки доквіллю – майже в 425 млн. грн., у повітря потрапило 20 тис. т. ЗР. Також, постраждали нафтобази у Кривому Розі та у Новомосковському районі Дніпропетровської області. У с. Соколова Балка, що на Полтавщині, стався потужний вибух на нафтобазі ТОВ СП «Полтавська газонафтова компанія». За даними [4] внаслідок російських ударів по нафтобазах та складах паливно-мастильних матеріалів згоріло понад 680,6 тис. т. нафтопродуктів. Географія зруйнованих об'єктів представлена на рис. 2.



Рис. 1. Приклад руйнувань ємностей з нафтопродуктами нафтобази «Амік» у м. Бородянка [3]



Рис. 2. Географія зруйнованих об'єктів з нафтопродуктами в Україні [4]

Руйнувань зазнала також авіаційна інфраструктура, передусім аеродроми не лише військового, але й цивільного і військово-цивільного (подвійного) призначення, де зберігалися пально-мастильні матеріали: авіаційне пальне, оливи, мастила і технічні рідини, що застосовувалися на повітряних суднах. З початку бойових дій в Україні були пошкоджені 19 аеропортів і цивільних аеродромів [5].

Екологічні наслідки таких руйнувань мають характер, який важко врахувати, оскільки забруднення нафтопродуктами порушує природні процеси та взаємозв'язки, перш за все, у ґрунтах та водному середовищі, що істотно впливає на стан здоров'я людей. Нафта та нафтопродукти слугують одним із найнебезпечніших хімічних забруднювачів довкілля. Варто зазначити, що до нафтопродуктів належать різні види палива (бензин, газ, дизельне пальне, мазут, вакуумний газойль тощо), мастильні матеріали, розчинники та інші. Незгоріле паливо

та побічні продукти згоряння пального можуть спричиняти накопичення сполук поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), що складаються з декількох кілець, зокрема, бензопірен, що класифікуються Міжнародним агентством з дослідження раку IARC як канцерогенні для людини [6]. Тому, багато країн Європейського Союзу (ЄС) розробили вимогливі правила поводження з небезпечними відходами, які посприяли підвищенню рівня збору та переробки незгорілого пального, а також використанню найкращих доступних технологій щодо поводження з відпрацьованими маслами згідно з розробленими Директивами ЄС: Рамкова директива щодо відходів (WFD) 2008/98/ЄС зі змінами, внесеними Директивою (EU) 2018/851, яка встановлює рамки для управління ПАВ [7].

Актуальність дослідження. Технічні засоби, що на сьогодні використовуються в Україні, хоча й дозволяють частково зменшити забруднення навколишнього природного середовища, проте потребують переробки або утилізації відходів, забруднених нафтопродуктами, що не розв'язує проблему докорінно. Станом на сьогодні в Україні не повною мірою застосовуються новітні технології декантації, регенерації та вакуумної дистиляції [8].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття. У випадках аварійного розливу нафтопродуктів важливо вжити необхідних заходів для забезпечення безпечного видалення, очищення забруднених матеріалів та їх утилізації або переробки з подальшим використанням. Декантація – це процес розділення двох рідин або рідини та твердого компоненту за допомогою їх різниці у щільності. Якщо необхідно видалити розлите пальне, декантація може бути використана для відокремлення бензину від ґрунту або води. З цією метою використовують спеціалізоване обладнання – трикантерні центрифуги (декантерна фільтрувальна центрифуга FLOTTWEG Decanter C4E-4/454 with SP3.11), тобто механічний пристрій, що дає змогу розділити вихідний матеріал на три фази: тверду і дві рідкі різної щільності. Найпоширеніші сфери застосування трикантерів – нафтопереробна промисловість (перероблення нафтовмісних відходів і шламів). Можливе застосування й терморозширеного графіту (ТРГ) як поглиначка для очищення поверхонь води та ґрунту від розливів органічних рідин, також може стати корисно-практичним у рішенні означеного питання – збір і знешкодження аварійних розливів агресивних рідин: нафтопродуктів, рідких отруйних речовин, органічних рідин і інших. Найбільш ефективне використання поглиначка – збір зазначених рідин з поверхонь водойм, а також ґрунту. Пляма розливу ліквідується шляхом збору поглиначка разом з поглиненою рідиною, при цьому ступінь очищення, наприклад, забрудненою нафтою або нафтопродуктами акваторії досягає 99,99%. Поглинений нафтопродукт, кількістю 70–80% від розлитого,

відокремлюється від поглинача й використовується за призначенням. Відпрацьований поглинач регенерується у спеціальній печі, а залишки нафтопродукту використовуються як додаткове паливо в процесі регенерації. Регенований поглинач може бути повторно використаний, при цьому кількість циклів «насичення – вичавлювання – регенерація» може досягти від 10 до 15 [9].

Надалі необхідними стають відповідні прийоми, технології оброблення та утилізації відпрацьованих нафтопродуктів. Один з таких прийомів полягає у проходженні процесу ректифікації. Технологічний процес здійснюється на основі принципу зниження пружності парів вуглеводневої сировини в результаті її додаткового нагріву та відбору виправлених легких фракцій. Технологія, яка широко використовується для розділення та очищення речовин з різними температурами кипіння, – це вакуумна дистиляція. Коли мова йде про переробку небезпечних відходів, вакуумна дистиляція може використовуватися для підвищення рівня екологічної безпеки. Піддаючи небезпечні відходи вакуумній дистиляції, можна відокремити складові на основі їхніх температур кипіння. Такий процес передбачає використання вакууму для зниження температури кипіння відходів, що дозволяє відокремити і зібрати конденсовані речовини. Такий метод досить корисний для речовин з високими температурами кипіння або термочутливих речовин.

Впровадження технології вакуумної дистиляції для переробки небезпечних відходів має кілька екологічних переваг. По-перше, це дає змогу відновлювати та переробляти цінні матеріали з потоку відходів, зменшуючи потребу у видобутку сировини. Крім того, вона допомагає безпечно утилізувати небезпечні компоненти, запобігаючи їхньому потраплянню в навколишнє середовище [10].

Нещодавно розроблена технологія переробки відпрацьованих автомобільних мастил заснована на їхній вакуумній перегонці в суміші із залишками атмосферної перегонки. Понад 95% небезпечних важких металів, золи та залишків вуглецю у відпрацьованих мастилах було видалено у вакуумній залишки, і ці залишки були успішно перетворені в асфальт для дорожнього покриття [10]. Збільшення виходу і поліпшення якості дистильованих продуктів було експериментально виявлено в діапазоні співвідношення змішання відпрацьованих мастил з атмосферними залишками 0–20%. Ці експериментальні результати показали розумну згоду з розрахунковими значеннями, отриманими під час моделювання процесу з використанням PRO II.

У праці [11] здійснено огляд сучасних практик поводження з відпрацьованими мастильними оліями (WLO) в Європі з метою не тільки просування економіки замкнутого циклу, але й екологічної безпеки, розглянуті характеристики первинної та відпрацьованої олії, їхні небезпечні властивості

та наслідки неправильної утилізації. Представлені сучасні методи очищення і технології регенерації, прийняті в Європі. Наведено огляд оцінки життєвого циклу стратегій управління WLO. У вітчизняних дослідженнях є поодинокі наукові роботи стосовно втілення цих технологій. Наприклад, НТУ «КПІ ім. І. Сікорського» [12] та Український державний хіміко-технологічний університет, займаються питаннями розробки нових технологій та методик вакуумної дистиляції з точки зору застосувань технології в різних галузях промисловості.

Наукові дослідження з впровадження технологій декантації та вакуумної дистиляції небезпечних речовин в аварійних ситуаціях спрямовані на підвищення рівня екологічної безпеки в Україні.

Мета роботи. Аналіз сучасного стану впровадження технологій декантації та вакуумної дистиляції небезпечних речовин в аварійних ситуаціях на підприємствах України для підвищення рівня екологічної безпеки та існуючого обладнання для забезпечення безпечного видалення, очищення забруднених матеріалів та їх утилізації або переробки з наступним використанням в умовах аварійного розливу нафтопродуктів або руйнування.

Об'єкт дослідження. Сучасні природоохоронні технології захисту навколишнього природного середовища та забезпечення екологічної безпеки завдяки впровадженню технологій декантації та вакуумної дистиляції небезпечних речовин.

Методологічне або загальнонаукове значення. Окреслені в праці наукові практики та висновки сприятимуть майбутнім перспективам ширшого впровадження технологій декантації та вакуумної дистиляції небезпечних речовин в аварійних ситуаціях для підвищення рівня екологічної безпеки в Україні.

Виклад основного матеріалу. Найширшого поширення в Україні отримав метод відцентрового поділу нафтових відходів з використанням декантерів (ДК) і сепараторів [13], тобто відцентрового поділу нафтових відходів на базі декантерної центрифуги DSD. Оскільки в Україні переробка відпрацьованих олій є серйозною екологічною проблемою, декантери, відомі як відстійники або освітлювачі, зазвичай використовуються в нафтовій промисловості для відділення нафти або олії від стічних вод та інших забруднень. Як правило, декантерний метод передбачає такі етапи:

1. Попередня обробка: відпрацьована олія або нафтопродукти спочатку проходять попередню обробку для видалення значних забруднень, зокрема, бруд, пісок та інші тверді речовини, за допомогою фільтрів або сіток.

2. Змішування та нагрівання: попередньо оброблену відпрацьовану олію потім змішують із теплом, хімікатами чи іншими агентами для поліпшення процесу розділення.

3. Декантація: потім суміш подається в графин – горизонтальний або вертикальний циліндрич-

ний резервуар з конічним дном. ДК призначений для відділення олії від стічної води та інших забруднень.

4. Розділення: під дією сили тяжіння олія піднімається до верхньої частини графіна, а стічні води та забруднювачі осідають вниз.

5. Видалення олії та стічних вод: відокремлена олія видаляється з верхньої частини графіна, а стічна вода та забруднювачі видаляються знизу.

Переваги такого методу мають такі ознаки: висока ефективність під час відокремлення олії від стічних вод та піску або інших твердих речовини, низькі експлуатаційні витрати, просте і легке обслуговування, гнучкість конструкції та експлуатації.

Метод ефективний при обробці відпрацьованих олій з різних джерел, зокрема: відпрацьовані моторні масла, промислові мастила, гідравлічні рідини, трансмісійні масла, трансформаторні масла, нафтопродукти.

В Україні працює низка компаній, які використовують графіни, хоча це поодинокі випадки. Варто зазначити, прикладів застосування ДК для очищення ґрунтів, що зазнали впливу аварійного розливу нафтопродуктів, в Україні на сьогодні не існує. Нафта – складний і досить стійкий забруднювач. Є приклади спільного використання сорбентів і мікроорганізмів-деструкторів для очищення забрудненого ґрунту, але внесення мікроорганізмів доцільно в тому разі, якщо активність природного біоценозу невисока, а окислення нафти відбувається вкрай повільно. Зважаючи на значну адсорбувальну поверхню ґрунту, в ньому накопичується забруднювач [14]. А якщо гранулометричний склад ґрунту та вміст вологи не відповідають таким умовам, то виникає необхідність застосовувати інші технології та способи рекультивації засмічених ґрунтів.

Аналогічна ситуація склалася із застосуванням в Україні технології вакуумної дистиляції (ВД) в процесах оздоровлення довкілля. Хоча ВД пропонує економічно ефективну та екологічно чисту альтернативу для рекультивації забрудненого нафтою ґрунту, а звичайні методи рекультивації, зокрема земляні роботи та захоронення, часто є дорогими та мають екологічні ризики.

Процес вакуумної дистиляції передбачає такі етапи: 1. Підготовка ґрунту: забруднений ґрунт викопується та подається до зони обробки. 2. Прогрівання: ґрунт нагрівають до температури 100–150°C для підвищення випаровування летких сполук. 3. Застосування вакууму для посилення випаровування та подальшої конденсації летючих сполук (нафтові вуглеводні), з ґрунту: до нагрітого ґрунту застосовується вакуум, щоб знизити температуру кипіння забруднень та поліпшити випаровування. 4. Конденсація: випаровувані забруднення потім конденсуються та збираються в окремому баку. 5. Обробка: оброблений ґрунт охолоджується та може повторно використаний або безпечно утилізований.

Переваги: ВД має кілька переваг перед традиційними методами рекультивації, зокрема: економічна

ефективність – нижчі витрати порівняно з розкопками та захороненням. Екологічні переваги: мінімізує утворення відходів і знижує ризик вторинного забруднення, зменшення потреб у звалищах, виробництво цінних продуктів з відходів, зокрема, паливо та хімікати, сприяння розвитку сталої економіки замкнутого циклу, відновлення навколишнього середовища в Україні завдяки очищенню ґрунтів.

Показовим прикладом застосування системи очищення ґрунту шляхом вакуумної дистиляції є технологія Harbauer, що запатентована як в Європі (патент № EP0388387), так і в США. Згідно з технологією Harbauer, система може використовуватися з метою рекультивації забруднених ґрунтів, особливо забруднених летючими та на пів летючими органічними сполуками або важкими металами [15] Вона поєднує хімічні та фізичні процеси для обробки адсорбованих, розчинених і вільних забруднювачів у ґрунті у вільній фазі. З моменту свого створення в 1987 році технологія Harbauer була застосована лише на об'єкті в Європі (в Марктредвіці). У США компанія Harbauer представлена компанією Lockwood Greene Engineers, Inc. Технологія складається з двох основних процесів: 1. Процес промивання ґрунту, який розділяє забруднений ґрунт на грубозернисту і дрібнозернисту фракції. 2. Процес вакуумної дистиляції, який полягає в нагріванні ґрунту під вакуумом для випаровування і видалення поллютанту.

Інший приклад, технологія німецької фірми «Masner Grandbow», розроблена для знешкодження та хімічної переробки нафтовмісних, олійовмісних відходів, що містять кислі гудрони, забруднену олією землю, емульсійні шлами, тощо [16]. За цією ж технологією, разом зі знешкодженням нафтовмісних відходів відбувається і їх збирання, що дає змогу очищати та рекультивувати забруднені земельні площі. За повідомленням фірми, таким методом можна очищати від забруднень великі площі від нафти під час її витоку або під час транспортування нафтопроводом, танкером і т. д. Цей інноваційний підхід усуває зростаючу стурбованість забрудненням навколишнього середовища, спричиненим забрудненими нафтою ґрунтами, водою та небезпечними відходами.

У цій сфері важливо знати, що згідно з Директивою 2008/98/EC переробка означає «будь-яку операцію з відновлення, за допомогою якої відходи переробляються в продукти, матеріали або речовини для первинних або інших цілей. Вона передбачає відмивання, регенерацію, повторну обробку та регенерацію WLO, але виключає відновлення енергії». Відмивання – це обробка із замкнутим циклом, особливо для гідравлічних рідин і рідин. Процес передбачає видалення твердих частинок шляхом фільтрації, зневоднення шляхом ВД та додавання свіжих добавок. При цьому, оброблені нафтопродукти повертається для повторного використання [17]. Гідравлічні рідини також можна обробити шляхом регенерації, коли мастильний матеріал центри-

фугують та/або фільтрують, а потім повторно використовують [18].

Підбиваючи підсумки проведеного аналізу, треба констатувати, що в Україні необхідно розробити пілотний проект з перевірки можливостей та доцільності використання вакуумної дистиляції для рекультивації забрудненого нафтою ґрунту, мета якого продемонструвати ефективність інноваційної технології у зниженні забруднення ґрунту нафтовими вуглеводнями. Отримані результати можуть мати широке застосування в різних галузях промисловості, зокрема: нафтогазовій: обробка забрудненого нафтою ґрунту, води та небезпечних відходів; управління промисловими відходами: переробка промислових відходів, що містять нафту та нафтопродукти; оздоровлення навколишнього середовища: відновлення забруднених ділянок та екосистем.

Основне завдання проекту: 1. Оцінити ефективність ВД для зниження рівня поллютантів у забрудненому ґрунті. 2. Проаналізувати рентабельність ВД порівняно з традиційними методами відновлення. 3. Оцінити екологічні переваги з огляду мінімізації утворення відходів та зниження ризиків вторинного забруднення.

Методологія, що передбачається у пілотному проекті. Збір зразків ґрунту із забрудненої ділянки та обробка їх за допомогою мобільної установки ВД. Вона складається з камери нагріву, вакуумного насоса та конденсатора. Забруднений ґрунт нагрівають до 400–450°C, застосовувався вакуум 0,1 бар для підвищення випаровування нафтових вуглеводнів. Конденсовані пари збирають та вимірюють вміст ТРН. Оброблений ґрунт перевірити на його хімічні та біологічні властивості, у тому числі й РН, токсичність і мікробну популяцію. Останній етап – біоло-

гічна ремедіація, тобто оброблений ґрунт подається біологічній ремедіації з використанням мікроорганізмів для подальшого розщеплення будь-яких органічних сполук, що залишилися.

Висновки та перспективи подальших досліджень. За результатами дослідження, вивчена можливість застосування технології декантації та вакуумної дистиляції небезпечних речовин під час аварійних ситуацій на підприємствах України для підвищення рівня екологічної безпеки та рекультивації забруднених нафтою ґрунтів і води з подальшим використанням перероблених поллютантів. Впровадження таких технологій засвідчило, що показовим прикладом застосування системи очищення ґрунту шляхом ВД є технологія Harbauer, запатентована в Європі та в США, а також німецької фірми «Masner Grandbow», яка розроблена з метою знешкодження та хімічної переробки нафтовмісних й олійовмісних відходів, що містять кислі гудрони, забруднену олією землю, емульсійні шлами тощо. Така система може бути використана для рекультивації забруднених ґрунтів, особливо забруднених летючими та напівлетючими органічними сполуками або важкими металами.

Саме тому в дослідженні порушена теза щодо необхідності створення відповідного пілотного проекту з метою означення ступеня можливостей та доцільності використання вакуумної дистиляції для рекультивації забрудненого нафтопродуктами ґрунту, продемонструвати ефективність використання інноваційних технологій у різних галузях промисловості, зокрема: нафто-газовій; управлінні промисловими відходами; оздоровленні навколишнього природного середовища тощо. Окреслені завдання проекту та методологія робіт.

Література

1. Green Deal. Interfax Україна, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. сайт URL: <https://interfax.com.ua/news/greendeal/907725.html> (дата звернення 9.05.24).
2. Boyko K., Diachenko N., Ulytsky O., Sokolov A. Assessment of accidental penetration of petroleum products into the geological environment and scientific substantiation of minimizing negative changes. *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Kyiv, 2023 P. 1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520019>.
3. Улицький О., Д'яченко Н., Соколов А., Сердюкова О. Дослідження забруднення нафтопродуктами зони аерації методом математичного моделювання. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2023. – № 59. – С. 44-55. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-04>.
4. Природа та війна: як російська агресія вплинула на довкілля. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2022/11/08/infografika/suspilstvo/pryroda-ta-vijna-yak-rosijska-ahresiya-vplynula-dovkillya> (дата звернення 17.06.24)
5. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року. Київська школа економіки. Київ: KSE, 2024. – 39 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf (дата звернення 5.07.24).
6. List of classifications, IARC. Volume 1–120, 2018. URL: http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php (дата звернення 15.07.24).
7. Pinheiro, C. T., Ascensão, V. R., Cardoso, C. M., Quina, M. J., & Gando-Ferreira, L. M. An overview of waste lubricant oil management system: Physicochemical characterization contribution for its improvement. *Journal of Cleaner Production*, 2017. 150, P. 301–308. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.001>.
8. Carolina Pinheiro, Margarida J. Quina, Licínio M. Gando-Ferreira. Management of waste lubricant oil in Europe: A circular economy approach. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Volume 51, 2021 – Issue 18. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1771887>.
9. Стратінов Є. В. Застосування терморозширеного графіту (ТРГ) як поглинач для очищення поверхонь води і ґрунту від розливів органічних рідин. Інститут газу НАН України. 2016. URL: <https://gas-inst.org.ua/3-2-pryumenenye-termorasshyrennogo>

grafyta-trg-kak-poglotytelya-dlya-ochystky-poverhnostej-vod%D1%8B-y-pochv%D1%8B-ot-razlyvov-organycheskyh-zh-ydkostej/ (дата звернення 15.05.24).

10. Myung-Soo Kim, Jong-Sic Hwang & Hyung-Rak Kim. Re-refining of waste lube oils by vacuum distillation with petroleum atmospheric residuum. *Journal of Environmental Science and Health. Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology*, Volume 32, 1997 – Issue 4. <https://doi.org/10.1080/10934529709376593>.
11. Carolina T. Pinheiro, Margarida J. Quina & Licínio M. Gando-Ferreira Management of waste lubricant oil in Europe: A circular economy approach. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Volume 51, 2021 – Issue 18. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1771887>.
12. Ставрова У.Л., Ульянов Л.М. Теплоенергетична інтеграція процесу вакуумної дисциляції мазуту на АВТ-Ф12/6. *Матеріали VI Університетської науково-практичної студентської конференції магістрантів*, Київ, 2013. – С. 90-92.
13. Новикова К. Б. *Вивчення методів утилізації технологічних шлаків*. Дипл. роб. на здобуття освіт. ступ. магістр. Український державний університет науки і технологій, Дніпро, 2021. – 93 с. URL: https://crust.ust.edu.ua/bitstream/123456789/14819/1/Novikova_dyp_2021.pdf (дата звернення 15.06.24).
14. Хохлов А.В., Хохлова Л.Й. Очищення піщаних ґрунтів від нафтозабруднень застосуванням біосорбційних комплексів. *Екологічні науки*, № 6 (33), 2020. – С. 86-90. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.12>.
15. Harbauer soil washing / vacuum-distillation system / innovative technology evaluation report, San Diego, California, 1996. URL: https://clu-in.org/download/contaminantfocus/mercury/EPA_vacuum.pdf (дата звернення 15.06.24).
16. Рагімова К.Е., Абдуллаєва Н.З. Особливості знешкодження нафтовмісних промислових відходів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2015. – Вип. 25 (3) – С. 106-111, URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2015/25_3/20.pdf (дата звернення 15.06.24).
17. Totten, G. E., & De Negri, V. J. *Handbook of hydraulic fluid technology* (2nd ed.). CRC Press., 2017. – 984 с.
18. Monier, V., Labouze, E. Critical review of existing studies and life cycle analysis on the regeneration and incineration of waste oils. European Commission: DG Environment Report, 2001. URL: http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/oil/waste_oil.pdf (дата звернення 19.06.24).