

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Наталія МАКСИМОВА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Природозахисні технології в урбо-індустріальному комплексі»
за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

**на тему «Організація та технологія робіт з ліквідації проливів
нафтопродуктів на залізничних коліях в умовах гірничо-
збагачувального комбінату»**

Керівник роботи

Наталія МАКСИМОВА

Консультант від бази
практики

Тамара ХЛЄБОСОЛОВА

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Наталія ЛІПКО

Підсумкова оцінка за атестацію

Голова ЕК

Катерина СУХОДОЛЬСЬКА

Запоріжжя 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Спеціальність: 183 Технології захисту навколишнього середовища
ОПП «Природозахисні технології в урбо-індустріальному комплексі»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри БПОД

Максим КАРАКАЙ

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
Ліпко Наталя Анатоліївна

1. Тема роботи «Організація та технологія робіт з ліквідації проливів нафтопродуктів на залізничних коліях в умовах гірничо-збагачувального комбінату»

керівник роботи Максимова Н.М., канд. техн. наук, доцент
затверджені наказом ректора ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» від «23» лютого 2026 року № 41/23.02.2026

2. Строк подання здобувачем роботи 11.06.2026

3. Вихідні дані до роботи: технологічні інструкції залізничного дивізіону гірничо-збагачувального комбінату, статистичні та звітні дані щодо проливів нафтопродуктів під час експлуатації та обслуговування маневрового і магістрального рухомого складу; характеристики сорбентів, біопрепаратів та технічних засобів для збирання нафтопродуктів; матеріали зібрані підчас переддипломної практики за ОПП "Природозахисні технології в урбо-індустріальному комплексі".

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Розділ 1. Характеристика виробничої діяльності та логістичної системи гірничо-збагачувального комбінату. Розділ 2. Організація та технологія робіт з ліквідації проливів нафтопродуктів на залізничних коліях гірничо-збагачувального комбінату. Розділ 3. Комплексні інженерні рішення з очищення баластного шару від нафтопродуктів. 4. Еколого-економічна оцінка та організаційні заходи з мінімізації техногенного впливу на довкілля. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу: Потенційна зона технологічного розливу паливно-мастильних матеріалів в межах залізничного цеху гірничо-збагачувального комбінату при проведенні технічного обслуговування рухомого складу з нанесеною сіткою колій (виконано за допомогою інструментарію QGIS). План-схема залізничного вузла цеху експлуатації гірничо-збагачувального комбінату з нанесеною сіткою колій (інструментарій QGIS). План-схема залізничного вузла цеху експлуатації з визначенням місця проливу (інструментарій QGIS). План-схема залізничного вузла цеху експлуатації з визначенням площі проливу (інструментарій QGIS). Отриманий чистий об'єм розлитого нафтопродукту в кубічних метрах (м³) (інструментарій QGIS). Запропонована план-схема контейнерного майданчика для залізничного цеху (побудовано за допомогою AutoCAD). Приклад розміщення ємності для збору і тимчасового розміщення відходів на екіпірувальному пункті залізничної станції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1.	Максимова Н.М., доцент	24.02.2026	29.04.2026
2.	Максимова Н.М., доцент	24.02.2026	29.05.2026
3.	Максимова Н.М., доцент	24.02.2026	05.06.2026

7. Дата видачі завдання 24.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи	30.03.2026	виконано
2.	Розділ 1. Характеристика виробничої діяльності та логістичної системи гірничо-збагачувального комбінату	29.04.2026	виконано
3.	Розділ 2. Організація та технологія робіт з ліквідації проливів нафтопродуктів на залізничних коліях гірничо-збагачувального комбінату	15.05.2026	виконано
4.	Розділ 3. Комплексні інженерні рішення з очищення баластного шару від нафтопродуктів	29.05.2026	виконано
5.	Розділ 4. Еколого-економічна оцінка та організаційні заходи з мінімізації техногенного впливу на довкілля	05.06.2026	виконано
6.	Оцінка підсумків кваліфікаційної роботи, висновки та пропозиції, список використаних джерел, додатки, оформлення роботи і презентаційного матеріалу та подання на оцінення	10.06.2026	виконано

Здобувач вищої освіти

Наталя ЛІПКО

Керівник роботи

Наталя МАКСИМОВА

АНОТАЦІЯ

Ліпка Наталя Анатоліївна. Організація та технологія робіт з ліквідації проливів нафтопродуктів на залізничних коліях в умовах гірничо-збагачувального комбінату. 107 сторінок, 7 рисунків, 16 таблиці, 51 джерел. – Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища ОПП «Природоохоронні технології в урбо-індустріальному комплексі». ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

Об'єкт дослідження: оптимізація процесів локалізації та ліквідації експлуатаційних проливів нафтопродуктів у межах залізничного полотна та щелевеної призми в умовах гірничо-збагачувального комбінату.

Предмет дослідження: технологічні рішення та організаційні заходи щодо очищення залізничного баласту від нафтопродуктів із застосуванням сорбційних матеріалів.

Мета роботи: удосконалення організації та технології робіт із ліквідації технологічних проливів нафтопродуктів для запобігання забрудненню залізничного баласту та зниження техногенного навантаження на довкілля гірничо-збагачувального комбінату.

Основні результати:

У роботі проаналізовано джерела та причини виникнення технологічних проливів нафтопродуктів на залізничній інфраструктурі комбінату. Оцінено ступінь та глибину проникнення нафтопродуктів у залізничний баласт (щелевену призму). Досліджено та обґрунтовано ефективність застосування мінеральних та спеціалізованих біоактивних сорбентів для локалізації та збору забруднень безпосередньо з верхньої будови колії. Розроблено організаційні заходи з внесення та збору сорбентів, а також алгоритм поводження з відпрацьованими матеріалами.

Запропоновані організаційно-технічні заходи дозволяють підтримувати належний експлуатаційний стан залізничних колій, мінімізувати екологічні ризики та оптимізувати витрати підприємства на природоохоронні заходи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: технологічні проливи, нафтопродукти, залізничний баласт, гірничо-збагачувальний комбінат, пісок, сорбенти, «Еколан-М», екологічна безпека, очищення колії.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СПЕЦИФІКИ НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ	10
2 ОРГАНІЗАЦІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ РОБІТ З ЛІКВІДАЦІЇ НАФТОПРОЛИВІВ ТА УПРАВЛІННЯ НАФТОВМІСНИМИ ВІДХОДАМИ	20
2.1 Технологічні проливи нафтопродуктів: характеристика та способи локалізації в умовах щоденної експлуатації залізничного цеху	20
2.2 Застосування геоінформаційних систем для просторового моделювання та оцінки об'ємів забруднення	23
2.3 Використання ресурсів гірничорудного кар'єру для локалізації технологічних нафтопроливів	27
2.4 Обґрунтування та визначення необхідної кількості сорбенту «Еколан-М»	34
2.5 Визначення кількості основних видів відходів, які утворюються під час виконання технологічних процесів та робіт з ліквідації нафтопродуктів в залізничному цеху	36
2.6 Розрахунок маси утворення забрудненого сорбенту як відходу	51
3 КОМПЛЕКСНІ ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ З ОЧИЩЕННЯ БАЛАСТНОГО ШАРУ ВІД НАФТОПРОДУКТІВ	58
3.1 Вплив забруднення нафтопродуктами мінеральних матеріалів на геомеханічну стійкість баластної	58

	призми залізничної колії	
3.2	Організація спеціалізованих майданчиків для локалізації технологічних проливів та тимчасового зберігання нафтовмісних відходів	60
3.3.	Розміщення ємності для збору і тимчасового зберігання відходів залізничного цеху	65
3.4.	Автоматизовані комплекси механічної регенерації баласту	66
3.5.	Сорбційно-бар'єрні методи захисту геологічного середовища	68
3.6	Технології біоремедіації in-situ та мікробної деструкції	69
3.7	Аналіз сорбційних матеріалів та біопрепаратів на вітчизняному ринку для ліквідації нафтових забруднень	71
4	ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ТА ОРГАНІЗАЦІЙНІ ЗАХОДИ З МІНІМІЗАЦІЇ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ	75
4.1	Аналіз світового досвіду та інженерних рішень щодо очищення залізничного баласту від нафтових забруднень	75
4.2	Визначення загальних витрат пов'язаних з ліквідацією нафтопроливів за допомогою мінеральних сорбентів	76
4.3	Розрахунок розміру шкоди від забруднення земель	80
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	86
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	88
	ДОДАТОК А Публікація здобувача	96
	ДОДАТОК Б Перелік та кодифікація відходів підприємства із зазначенням їхнього хімічного складу та класу небезпеки	100
	ДОДАТОК В Розкриття факту делегування завдань	107

генеративному ШІ

ВСТУП

Актуальність роботи. Експлуатація залізничного транспорту на гірничо-збагачувальних комбінатах пов'язана з постійним виконанням технологічних операцій: екіпіруванням маневрових локомотивів, зливом-наливом паливно-мастильних матеріалів та їх технічним обслуговуванням. Під час цих процесів виникають систематичні технологічні (експлуатаційні) проливи нафтопродуктів. Потрапляючи на залізничне полотно, паливо та мастила проникають у щебенову призму. Накопичення вуглеводнів у залізничному баласті погіршує його дренажні та амортизаційні властивості, руйнує структуру колії та створює стійке хімічне забруднення земляного полотна. Таким чином, аналіз причин виникнення технологічних проливів нафтопродуктів на залізничній інфраструктурі гірничо-збагачувального комбінату, а також впровадження ефективних технологічних рішень спрямованих на ліквідацію проливів нафтопродуктів на залізничних коліях є **актуальним** науково-практичним завданням.

Об'єкт дослідження: оптимізація процесів локалізації та ліквідації експлуатаційних проливів нафтопродуктів у межах залізничного полотна та щебенової призми в умовах гірничо-збагачувального комбінату.

Предмет дослідження: технологічні рішення та організаційні заходи щодо очищення залізничного баласту від нафтопродуктів із застосуванням сорбційних матеріалів.

Мета роботи: удосконалення організації та технології робіт із ліквідації технологічних проливів нафтопродуктів для запобігання забрудненню залізничного баласту та зниження техногенного навантаження на довкілля гірничо-збагачувального комбінату.

Задачі дослідження:

1) на підставі аналітичного огляду виробничої діяльності гірничо-

збагачувальних комбінатів виявити основні умови виникнення технологічних проливів нафтопродуктів;

2) оптимізувати процеси оцінки забруднення ділянок залізничного цеху нафтопродуктами за використанням інструментарію геоінформаційної системи;

3) класифікувати основні види відходів, які утворюються під час робіт з ліквідації нафтопроливів на залізничних коліях;

4) розглянути особливості організації і технології проведення очисних робіт від нафтових забруднень в межах залізничного цеху;

5) розробити організаційно-технічні рішення щодо оптимізації та влаштування спеціалізованого контейнерного майданчика, призначеного для тимчасового зберігання основних видів відходів залізничного цеху;

6) виконати економічне обґрунтування доцільності оперативної ліквідації нафтопроливів.

Методи дослідження. Під час виконання досліджень використано аналітичні методи, включаючи інструментарій програм QGIS та AutoCAD, а також польові дослідження з виявлення ділянок забруднення у виробничих умовах.

Практична цінність роботи: показана можливість використання інструментарію QGIS для локалізації ділянок забруднення та обґрунтована ефективність використання сорбентів, на прикладі «Еколан-М», для ліквідації нафтопроливів в умовах залізничного цеху.

Результати дослідження були запробовані під час участі у XI Міжнародному молодіжному конгресі «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (дод. А) [1].

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СПЕЦИФІКИ НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

1.1 Загальна характеристика виробничої діяльності гірничо-збагачувального комбінату

В роботі розглянуто гірничо-збагачувальний комбінат (ГЗК), виробнича діяльність якого пов'язана з видобутком та переробкою залізистих кварцитів. Специфіка функціонування підприємства визначає його як складний промисловий вузол, у якому логістична складова відіграє ключову роль у забезпеченні безперебійності та циклічності всього технологічного процесу ГЗК.

Основним видом діяльності комбінату є виробництво високоякісного залізорудного концентрату. Ефективність виробництва забезпечується чіткою взаємодією та технологічним взаємозв'язком між основними структурними підрозділами ГЗК:

- кар'єр, де здійснюється видобуток корисної копалини (залізистих кварцитів) та розкривних порід відкритим способом із застосуванням буровибухових та екскаваторних робіт;

- дробарно-збагачувальна фабрика (ДЗФ): технологічний комплекс, де відбуваються процеси багатостадійного подрібнення, класифікації та магнітної сепарації руди для отримання кінцевого товарного продукту;

- залізничний цех (ЗЦ): ключова логістична ланка, яка забезпечує безперервне транспортування гірничої маси від екскаваторних забоїв у кар'єрі до перевантажувальних пунктів, відвалів та безпосередньо на дробарно-збагачувальну фабрику.

Залізничний цех ГЗК має розгалужену та технологічно складну

мережу залізничних колій. Вони пролягають як по уступах та бортах кар'єру (внутрішньокар'єрні колії), так і на промислових майданчиках комбінату (зовнішні та з'єднувальні колії).

Транспортування великих обсягів гірничої маси та забезпечення маневрової роботи здійснюється за допомогою спеціалізованого рухомого складу, до якого належать:

- тягові агрегати — застосовуються як основна тягова сила для вивезення важких поїздів із глибоких горизонтів кар'єру в умовах крутих ухилів;

- маневрові тепловози — використовуються для виконання маневрових робіт на станціях, формування складів та обслуговування технологічних майданчиків ГЗК;

- думпкари (вагони-самоскиди) — спеціалізований вантажний рухомий склад, призначений для перевезення та механізованого розвантаження руди і розкривних порід.

Важливою аналітично-управлінською ланкою підрозділу є виробничо-технічне бюро (ВТБ) залізничного цеху. Діяльність ВТБ спрямована на:

- розробку та оптимізацію графіків руху поїздів для недопущення простоїв обладнання;

- системний контроль технічного стану залізничних колій, контактної мережі та рухомого складу ГЗК;

- планування, впровадження та моніторинг заходів з охорони праці та промислової безпеки на залізничному транспорті.

У сучасних реаліях комбінати України активно впроваджують та підтримують систему екологічного менеджменту відповідно до міжнародних стандартів. Проте специфіка діяльності та інтенсивна експлуатація залізничного транспорту неминуче створюють постійні ризики негативного техногенного впливу на навколишнє середовище.

Основною екологічною загрозою, пов'язаною з роботою

залізничного цеху ГЗК, є ризик забруднення ґрунтів нафтопродуктами. Витоки дизельного пального, мастильних матеріалів та гідравлічних рідин можуть відбуватися під час експлуатації, технічного обслуговування чи заправки рухомого складу.

Згідно з Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» [2], Земельним кодексом України [3] та іншими діючими нормативно-правовими актами, а також внутрішніми інструкціями ГЗК [4], комбінат зобов'язаний:

- здійснювати регулярний екологічний моніторинг стану земель у межах санітарно-захисної зони;
- забезпечувати оперативно-технічне реагування та ліквідацію наслідків будь-яких витоків технічних рідин;
- впроваджувати ефективні заходи щодо запобігання міграції забруднюючих речовин у підземні води та суміжні екосистеми.

1.2 Аналіз джерел та причин виникнення проливів нафтопродуктів на коліях залізничного цеху

Під час проходження практики у виробничо-технічному бюро (ВТБ) залізничного цеху (ЗЦ) мною було проведено обстеження ключових ділянок колійного господарства. Встановлено, що проливи нафтопродуктів на залізничне полотно в умовах ГЗК не є поодинокими випадками, а мають системний характер, зумовлений специфікою експлуатації важкого тягового рухомого складу.

Основними джерелами забруднення нафтопродуктами на підприємстві є:

- тяговий рухомий склад: витоки дизельного пального та мастильних матеріалів через нещільність з'єднань паливної та масляної систем, а також через зношеність сальникових ущільнень;
- пункти екіпірування та відстою локомотивів: зони, де

відбувається заправка паливом та технічне обслуговування, що супроводжується «крапельними» проливами;

- місця гальмування та криві ділянки колій, де спостерігається інтенсивне використання рейкозмащувачів (лубрикаторів) для зменшення зносу гребенів коліс.

Було класифіковано проливи за ступенем впливу на баластну призму:

- поверхнєве забруднення: нафтопродукти затримуються на поверхні щебеню, утворюючи нафтошлакову кірку;

- глибоке проникнення: при об'ємі проливу понад 5 літрів на 1 м², нафтопродукти просочуються крізь баластний шар до земляного полотна, що створює ризик забруднення підземних вод.

Відповідно до реєстру екологічних аспектів та інших внутрішніх документів ГЗК будь-яке забруднення залізничного полотна нафтопродуктами є порушенням норм експлуатації, оскільки це не лише шкодить довіллю, а й погіршує несучу здатність баластної призми (зменшує тертя між частками щебеню).

1.3 Аналіз підходів до відновлення залізничного баласту, забрудненого нафтопродуктами

Для ефективної організації робіт із ліквідації таких забруднень першочерговим завданням є точний моніторинг та локалізація місць систематичних проливів. Сучасна інженерна практика показує ефективність застосування методів автоматизованого дистанційного виявлення нафтових забруднень на основі алгоритмів глибокого навчання [5]. В умовах розгалуженої колійної інфраструктури ГЗК це дозволяє оперативно фіксувати зони нагромадження нафтопродуктів. Наступним етапом є прогнозування масштабів забруднення; використання геоінформаційних систем, зокрема інструментів QGIS, дозволяє кількісно

та якісно оцінити загрозу та попередити фільтрацію нафтових вуглеводнів із залізничного баласту в підземні водоносні горизонти підприємства [6].

Традиційне механічне зрізання або засипання виявлених проливів звичайним піском є малоефективними заходами, оскільки вони не видаляють нафтопродукти з пористої структури щебеню. Сучасний технічний підхід базується на технологіях біоремедіації [7]. Для умов залізничних колій перспективним є використання сорбентів, які здатні локалізувати нафтопродукти та запустити процеси їх розчеплення. Зокрема, застосування біосурфактантів дозволяє знизити гідрофобність нафтової плівки на поверхні щебеню та підвищити її біодоступність для мікроорганізмів [8].

Враховуючи застарілий характер багатьох проливів на підприємствах, очищення баласту потребує використання мікробних активаторів, які безпосередньо руйнують вуглеводневі ланцюги [9]. У виробничих умовах ГЗК найбільш доцільно впроваджувати біопрепарати у сухій формі, іммобілізовані на мінеральній основі (наприклад, суміш річкового піску та препарату «Еколан-М»). Практичний досвід підтверджує, що такі сухі форми зберігають стабільність та високу деструктивну здатність в умовах значних температурних коливань промислових майданчиків [10]. Комплексне поєднання сорбції та мікробіологічного розкладу дозволяє поетапно відновити стан техногенно навантаженого баластного шару без зупинки руху поїздів [11].

1.4 Деякі аспекти нормативно-правового регулювання управління нафтовими забрудненнями на підприємстві

В ході опрацювання документації у ВТБ, я виділила основний перелік документів, якими керується персонал ГЗК при виявленні проливів:

- Закон України «Про охорону земель»: стаття 45 [12] прямо зобов'язує власників підприємств забезпечувати захист земель від

забруднення небезпечними речовинами;

- ДСТУ 4462.3.01:2006 «Охорона природи. Поводження з відходами. Порядок збирання, перевезення, зберігання та утилізації відпрацьованих нафтопродуктів» [13]: визначає технічні вимоги до збору нафтошламів після очищення колій.

При виявленні проливу в межах залізничного цеху, згідно з моїми спостереженнями, складається акт внутрішнього розслідування, де фіксується площа забруднення та орієнтовний об'єм втрачених паливно-мастильних матеріалів (ПММ). Подібні відомості необхідні для їх обліку та врахування нанесеної шкоди довкіллю [14].

1.5 Вплив криогенних факторів на адгезійну здатність мастильних матеріалів при розливах на щебеневу основу

Специфіка ліквідації розливів у зимовий період визначається не лише низькими температурами, а й докорінною зміною властивостей поверхні субстрату (щебеню). Утворення льодової плівки на гранях каменю створює бар'єр, який практично виключає капілярне всмоктування мастила, що є основним механізмом утримання забруднювача в теплу пору року.

Головна проблема полягає в тому, що система «мастило – щебінь» трансформується в трифазну систему «мастило – лід – щебінь». Адгезія мастила до льоду за своєю природою є значно слабшою, ніж до мінеральної поверхні.

Будь-яке мінімальне підвищення температури (наприклад, сонячне випромінювання або тепло від самого мастила при витоку) створює на межі контакту мономолекулярний шар води. Це призводить до явища гідродинамічного змащення: пляма мастила не фіксується на місці, а починає «дрейфувати» поверхнею щебеневого насипу навіть при мінімальних ухилах.

При замерзанні залишкова волога в порах щебеню розширюється, виштовхуючи мастило на поверхню. Це створює ілюзію легкого очищення, проте насправді призводить до швидкого горизонтального поширення плями на значні площі.

Зі зниженням температури в'язкість мастильних матеріалів зростає експоненціально. Це створює два критичні наслідки для ліквідаторів:

- мастило стає настільки густим, що стандартні сорбуючі мати або бони не встигають його поглинати. Воно просто «обволікає» сорбент зверху, не потрапляючи всередину його структури;

- мастило здатне вмерзати в структуру льоду під час снігопадів, утворюючи конгломерат, який неможливо розділити механічно без повного розтоплення.

На основі аналізу адгезійних процесів, можна виділити наступні проблеми практичного виконання робіт.

При температурах нижче -20°C деякі види мастил переходять у крихкий стан. При спробі механічного збору вони розсипаються на дрібні фракції, які змішуються зі снігом, що збільшує об'єм відходів у 5–10 разів порівняно з літнім періодом [15-16].

Більшість біодеструкторів (бактерій, що «їдять» нафту) впадають у стабільно неактивний стан, що робить біологічний метод ліквідації взимку абсолютно неефективним [17].

1.6 Аналіз сезонної міграції нафтопродуктів у структурі баластного шару

Експлуатація залізничних колій у кар'єрі та на промислових станціях характеризується екстремальними температурними перепадами (від -25°C взимку до $+40^{\circ}\text{C}$ влітку), що безпосередньо впливає на в'язкість та адгезійні властивості технологічних проливів паливно мастильних матеріалів.

У теплий період року (травень – вересень) основною проблемою є зниження динамічної в'язкості нафтопродуктів. При нагріванні баласту сонячною радіацією до 50-60°C, дизельне пальне та мастила переходять у стан високої текучості (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Основні властивості нафтопродуктів у літній період, які характеризують їх міграційну здатність до компонент доквілля

Властивості	Характеристика
Глибина проникнення	У літній період технологічний пролив об'ємом 1 літр здатний просочити щебеневий баласт на глибину до 25–35 см протягом 2-3 годин. Це призводить до забруднення не лише поверхні, а й піщаної подушки.
Випаровування	Легкі фракції нафтопродуктів інтенсивно випаровуються, створюючи загазованість у зоні колій, що потребує особливої уваги до пожежної безпеки під час проведення ремонтних робіт.
Вплив опадів	Літні зливи сприяють швидкому розповсюдженню плям вздовж колії, «змиваючи» нафтопродукти з металевих частин скріплень та шпал у міжшпальний простір.

В умовах від'ємних температур (грудень – березень) характер забруднення змінюється з «об'ємного» на «площинний» (табл. 1.2-1.4).

Таблиця 1.2 – Поведінка проливів в осінньо-зимовий період

Властивості	Характеристика
Кристалізація та адгезія	Нафтопродукти (особливо трансмісійні та густі мастила) втрачають плинність і миттєво застигають на поверхні шпал або снігового покриву. Утворюється так звана «мазутна кірка»
Консервація забруднення	Сніг виступає як тимчасовий сорбент, що утримує нафтопродукт на поверхні. Це спрощує локалізацію, оскільки забруднення не проникає глибоко в баласт, за умови вчасного прибирання сніго-льодової маси.
Ризики відлиги	Найбільш небезпечним є період танення снігу. Разом із талою водою законсервовані нафтопродукти починають активно мігрувати, що може призвести до непередбачуваного розширення зони забруднення за межі залізничного полотна.

Таблиця 1.3 – Вплив сезонів на характеристики проливів

Характеристика	Літній період (високі t°)	Зимовий період (низькі t°)
Стан нафтопродукту	Висока плинність, активна фільтрація	Висока в'язкість, застигання
Глибина забруднення	Значна (до піщаного шару)	Поверхнева (на снігу або щебені)
Основна загроза	Проникнення в ґрунтові води	Розмивання талою водою навесні
Рекомендований метод	Хімічна деструкція або сорбенти	Механічне зрізання з шаром снігу/льоду

Таблиця 1.4 – Джерела технологічних проливів та особливості їхньої поведінки при зміні сезонів

Джерело технологічного проливу	Літо	Зима
Дизельне пальне	Має надзвичайно низьку в'язкість (1,5–4,0 мм ² /с при 20°C). Це призводить до миттєвого вертикального просочування в баласт. Навіть невеликий пролив швидко досягає піщаної подушки, що робить поверхнєве очищення малоефективним без заміни частини щебеню.	При використанні зимових марок ДП плинність зберігається, але швидкість фільтрації знижується. Проте при критичних температурах (нижче -20°C) можливе парафінування, що «забиває» пори верхнього шару баласту, полегшуючи збір пального з поверхні льодового панцира.
Моторні оливи (серія М-14) (Технічні характеристики М14В2) [18]	Робоча температура оливи в двигуні сягає 80-95°C. При потраплянні на гарячий щебінь вона зберігає високу температуру, що сприяє її глибокій сорбції в пори каменю. Видалення такої оливи потребує застосування потужних поверхнево-активних речовин (ПАР).	Олива М-14 має температуру застигання близько -12°C... – 15°C. Це означає, що при типовій криворізькій зимі технологічні витoki оливи на колію перетворюються на в'язкі, напівтверді пластичні маси. ВТБ рекомендує в цей період використовувати механічний метод зрізання забруднення, оскільки рідкі біодеструктори при таких температурах не працюють.
Осьові та трансмісійні мастила	Можуть «стікати» з вузлів тертя, утворюючи плями під колісними парами під час зупинок.	Стають крихкими, що дозволяє відділяти їх від елементів верхньої будови колії (рейок, підкладок) механічним способом (сколюванням), не вдаючись до хімічної промивки.

На основі проведеного аналізу, для умов залізничного цеху ГЗК

пропонується наступна диференціація засобів ліквідації:

- червень – серпень: використання дрібнодисперсних мінеральних сорбентів або гідрофобного торфу. Вони мають високу швидкість поглинання рідких фракцій і «замикають» нафтопродукт всередині своєї структури, перешкоджаючи його вимиванню зливами;

- грудень – лютий: Застосування переважно сорбуючих матів та механічного інвентарю. Використання рідких реагентів на водній основі заборонено через ризик обледеніння колії та неефективність хімічної реакції при низьких температурах.

Висновки за розділом 1

Комплексний аналіз діяльності залізничного цеху гірничо-збагачувального комбінату дозволив класифікувати проливи нафтопродуктів за ступенем проникнення в баластну призму.

Дослідження впливу криогенних факторів та сезонної міграції вуглеводнів у структурі щебеню довело, що термодинамічні умови промислового майданчика суттєво змінюють адгезійну здатність мастильних матеріалів.

На основі огляду джерел науково-практичного та нормативно-правового характеру обґрунтована доцільність диференціації ліквідаційних робіт, яка передбачатиме перехід від механічного зрізання до використання мінеральних сорбентів в теплу пору року та сорбуючих матів у холодний період року.

2 ОРГАНІЗАЦІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ РОБІТ З ЛІКВІДАЦІЇ НАФТОПРОЛИВІВ ТА УПРАВЛІННЯ НАФТОВМІСНИМИ ВІДХОДАМИ

2.1 Технологічні проливи нафтопродуктів: характеристика та способи локалізації в умовах щоденної експлуатації залізничного цеху

На підставі виконаних спостережень, було виявлено, що основний масив забруднення паливно-мастильними матеріалами (ПММ) колій гірничо-збагачувального комбінату формується через технологічну негерметичність вузлів рухомого складу та особливості виробничого процесу. Виділено наступні зони постійного технологічного забруднення (рис. 2.1-2.2):

- ділянки очікування та стоянки: через конструктивні особливості дизельних двигунів та гідропередач тепловозів спостерігається постійне крапання мастила на баластну призму;
- стрілочні переводи: технологічне змащування стрілок для забезпечення їхньої працездатності призводить до накопичення нафтошламу, змішаного з вугільним та залізородним пилом;
- фронти вивантаження / завантаження: у місцях, де локомотиви працюють на високих обертах під навантаженням, відбувається викид незгорілих частинок пального разом із відпрацьованими газами.

Розглянемо технологію ліквідації технологічних проливів. Боротьба з технологічними проливами на гірничо-збагачувальному комбінаті має регламентний характер:

- профілактичне сорбційне покриття: використання тонкого шару піщано-сорбційної суміші в місцях постійних стоянок (згідно з внутрішнім регламентом технічного обслуговування підприємства);
- механічне очищення: регулярне зняття верхнього шару

забрудненого баласту (5-10 см) ручним або механізованим способом з подальшим вивезенням на спеціалізовані майданчики тимчасового зберігання відходів.



Рисунок 2.1 – Потенційна зона технологічного розливу паливно-мастильних матеріалів в межах залізничного цеху гірничо-збагачувального комбінату при проведенні технічного обслуговування рухомого складу з нанесеною сіткою колій (виконано за допомогою інструментарію QGIS). Запропоновані точки відбору проб ґрунту: 1 – точка в зоні найбільшого ризику забруднення; 2 – фонові точка, розташована поза межами основного техногенного впливу; 3 – точка, розташована за напрямком можливого поширення забруднення відповідно до рельєфу місцевості та поверхневого стоку

Застосування біопрепаратів-деструкторів: під час літнього періоду для очищення забрудненого щебеню без його вилучення доцільно застосовувати методику «in-situ» (на місці), що відповідає вимогам ДСТУ ISO 14001:2015 [19].

Перелік організації робіт з ліквідації проливів стисло наведено нижче.



Рисунок 2.2 – План-схема залізничного вузла цеху експлуатації гірничо-збагачувального комбінату з нанесеною сіткою колій (інструментарій QGIS).

Роботи з ліквідації щоденних проливів організовуються майстрами колійних бригад залізничного цеху (ЗЦ). Згідно з «Правилами пожежної безпеки на залізничному транспорті» [20], затвердженими наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 21.12.2009 № 1322, накопичення нафтопродуктів на коліях є неприпустимим, оскільки це підвищує ризик займання баласту при попаданні іскри від гальмівних колодок.

На основі аналізу даних «Журналу огляду колій та стрілочних переводів», у якому відображаються ділянки з підвищеним рівнем забруднення паливно-мастильними матеріалами, пропонується впровадження системи регламентованого сорбційного очищення. Реалізація даного заходу сприятиме локалізації осередків забруднення на ранніх стадіях та дозволить зменшити обсяги вилучення забрудненого щебеню.

2.2 Застосування геоінформаційних систем для просторового моделювання та оцінки об'ємів забруднення

Для проведення екологічного моніторингу, встановлення просторового розподілу забруднюючих речовин та розрахунку об'єму проливу нафтопродуктів на залізничних коліях підприємства було застосовано інструментарій сучасної геоінформаційної системи QGIS.

Використання ГІС-моделювання дозволяє мінімізувати похибки при визначенні площ складної геометричної форми [6], якими характеризуються реальні проливи на баластній призмі залізничного полотна. Методика визначення об'єму та просторового розподілу проливів складалася з кількох послідовних етапів.

1. Формування картографічної основи та геопросторове прив'язування. В якості базової матриці даних було використано цифрові супутникові знімки високої роздільної здатності (*Google Satellite*), інтегровані в робочий простір за допомогою протоколу *XYZ Tiles*. Для точного відображення лінійних об'єктів транспортного цеху нанесено шар залізничної сітки району дослідження (*railway_rail_Kryvyi Rih*).

З метою забезпечення точності метричних розрахунків (вимірювання площ у квадратних метрах) для проекту та векторних шарів було встановлено поперечно-циліндричну проекцію Меркатора – WGS 84 / UTM zone 36N (EPSG:32636), яка є оптимальною для обраного географічного регіону України.

2. Векторизація та визначення площі джерела забруднення (*S*). Шляхом камерального дешифрування та оцифрування контурів візуального забруднення на знімку в режимі редагування було створено полігональний шар *prolyv.shp*. Розрахунок точної площі дзеркала проливу (*S*, м²) виконано автоматично в середовищі QGIS за допомогою інструменту Калькулятор полів (*Field Calculator*) із застосуванням внутрішньої геометричної функції: *\$area*.

Це дозволило отримати площу забрудненої ділянки з урахуванням реального рельєфу та укосів залізничного насипу (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – План-схема залізничного вузла цеху експлуатації з визначенням місця проливу (інструментарій QGIS)

3. Обґрунтування фізичних параметрів середовища. Оскільки залізничний баласт на досліджуваній ділянці представлений щебенем крупної фракції 40–70 мм, нафтопродукт під дією гравітаційних сил швидко інфільтрується вглиб баластної призми. Для розрахунку чистого об'єму речовини враховано коефіцієнт ефективної пористості щебеневого шару (n), який для даної фракції становить 0,42 (тобто 42% від загального об'єму насипу займають міжфракційні порожнечі, здатні утримувати рідину). Глибина проникнення нафтопродукту (h , м) задавалася як умовно-стабільна величина на основі даних натурних замірів (або шурфування) і внесена у таблицю атрибутів створеного шару.

Оскільки знімок не показує, як глибоко нафта пішла в щебінь, ми

маємо задати цей параметр вручну (наприклад, за результатами замірів на коліях, припустимо, середня глибина просочування становить 20 см, тобто 0,2 м) (рис. 2.4).

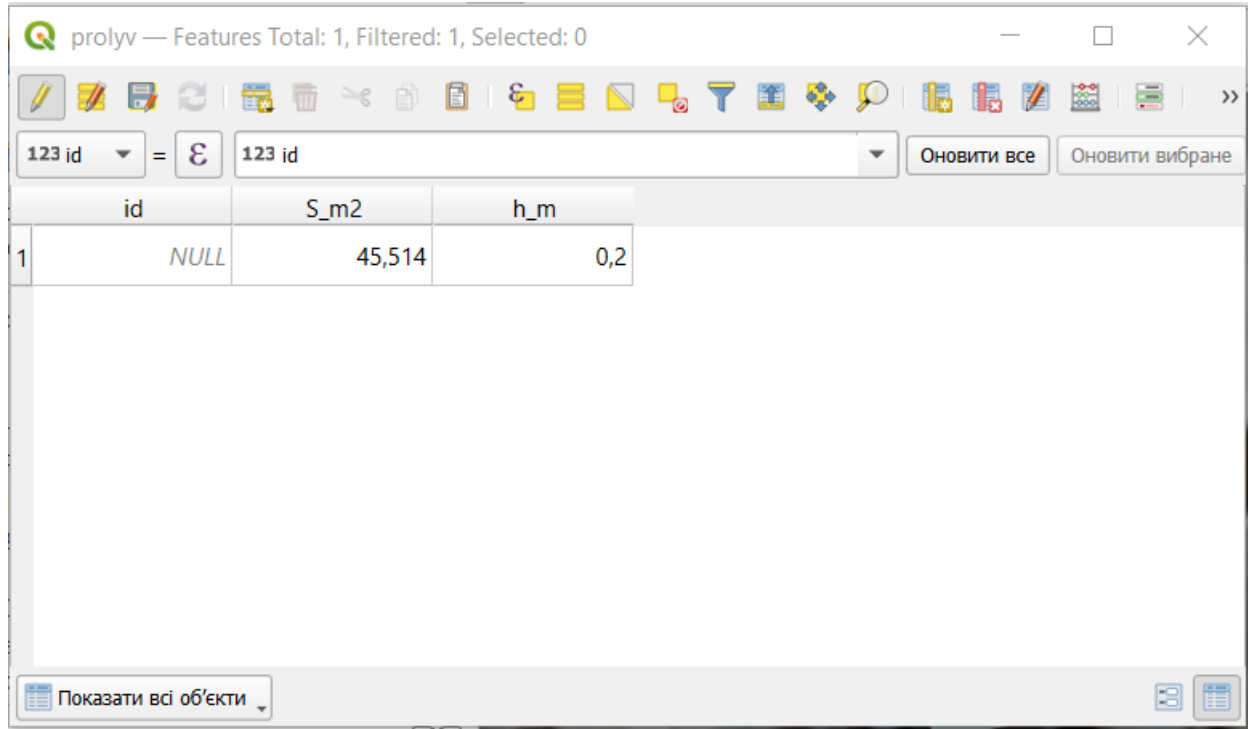


Рисунок 2.4 – План-схема залізничного вузла цеху експлуатації з визначенням площі проливу (інструментарій QGIS)

4. Математичне моделювання загального об'єму проливу ($V_{нп}$). Фінальний розрахунок маси чи об'єму міграції нафтопродукту в тілі залізничної колії реалізовано через інтегровану формулу в калькуляторі полів QGIS:

$$V_{нп} = S \cdot h \cdot n \quad (2.1)$$

У середовищі програми алгоритм (див. формулу (2.1)) має такий вигляд: "S_m2" * "h_m" * 0.42.

де S , "S_m2" – площа проливу, розрахована ГІС-модулем, м²;

- $h, "h_m"$ – середня глибина просочування баласту, м;
- $n, 0.42$ – константа пористості для щебеню фракції 40-70 мм.

Отримані за допомогою QGIS точні просторові та об'ємні показники (сформовані у стовпчику V_{np_m3} таблиці атрибутів) є базою для подальшого розрахунку екологічних збитків від забруднення земельних ресурсів згідно з чинними нормативними методиками та для розробки заходів з локалізації проливу (рис. 2.5).

	id	S_m2	h_m	V_np_m3
1	NULL	45,514	0,2	3,823

Рисунок 2.5 – Отриманий чистий об'єм розлитого нафтопродукту в кубічних метрах (m^3) (інструментарій QGIS)

Залізничне полотно має складну геометрію (укоси, берми, баластну призму). Пролив розтікається нерівномірно. Використання метричної системи координат UTM zone 36N в QGIS дозволило врахувати реальну площу криволінійного контуру плями на залізничному насипу, що підвищило точність розрахунків у порівнянні зі стандартними лінійними замірами.

2.3 Використання ресурсів гірничорудного кар'єру для локалізації технологічних нафтопротівів

Однією з ключових переваг організації робіт у залізничному цеху гірничо-збагачувального комбінату є можливість використання інертних матеріалів власного виробництва, а саме кар'єрного піску для боротьби з проливами нафтопродуктів. Згідно з технологічною схемою, залізничне полотно в кар'єрі та на промислових майданчиках облаштоване баластним шаром із щебеню фракції 25-60 мм, що видобувається та переробляється безпосередньо на комбінаті. Власний щебінь має високу шорсткість поверхні, що сприяє первинній адгезії (прилипанню) мастильних матеріалів, не допускаючи їх миттєвого стікання у ґрунт.

При розробці заходів з ліквідації протівів нафтопродуктів у залізничному цеху було обґрунтовано впровадження технології «сорбційного бар'єра» на основі інертних дрібнодисперсних матеріалів. Оскільки залізничний баласт складається з великого щебеню, між камінцями є величезні пустоти, крізь які нафтопродукт під дією сили тяжіння за лічені хвилини «провалюється» крізь весь шар (40–70 см) і потрапляє безпосередньо в ґрунт. Очистити такий щебінь неможливо — його треба тільки викопувати та замінювати. Дана схема демонструє механізм стримування забруднювача та запобігання його проникненню у глибокі шари баластної призми.

Технологія базується на створенні тимчасового сорбційного бар'єра, що складається з трьох функціональних рівнів:

1. Верхній робочий шар (сорбент) – використовується пісок будівельний (згідно з ДСТУ Б В.2.7-210:2010) [21]. Завдяки високій питомій поверхні зерен та наявності капілярних пор, пісок створює щільний шар з високою поглинальною здатністю. При потраплянні нафтопродукту на такий екран вмикається механізм капілярного підняття та адгезії, що дозволяє утримувати в'язку речовину в межах піщаної подушки.

2. Зона фазового контакту – у цій зоні відбувається інтенсивне насичення інертного матеріалу забруднювачем. Нафтопродукт, замість вільного гравітаційного стікання крізь пустоти щебеню, всмоктується за принципом «губки». Дрібнозерниста структура піску виступає фізичним фільтром, що суттєво знижує швидкість фільтрації вуглеводнів.

3. Захищений шар (Баластна призма) – нижній шар представлений стандартним щебеним баластом (фракція 25–60 мм). Завдяки оперативному створенню сорбційного екрана, щебінь залишається чистим. Це критично важливо для збереження експлуатаційних характеристик колії, оскільки забруднення щебеню нафтопродуктами призводить до його «замаслювання», втрати дренажних властивостей та подальшої деформації рейко-шпальної решітки.

Схема сорбційного бар'єра за допомогою піску забезпечує наступні переваги:

- локалізація в часі – створення бар'єра дозволяє «законсервувати» пролив на поверхні, надаючи персоналу час для організації повної зачистки ділянки без ризику поширення плями у підземні води;
- спрощення рекультивації – замість дороговартісної заміни всього об'єму баластної призми, ліквідація наслідків обмежується лише збиранням забрудненого верхнього шару піску;
- економічна доцільність – використання піску як доступного матеріалу мінімізує витрати на сорбенти, при цьому ефективно запобігаючи сплаті шкоди від забруднення земель [14].

У межах регулярного технологічного процесу пісок застосовується для запобігання поширенню нафтопродуктів (масел, палива) на підлогу, ґрунт або залізничне полотно, шляхом рівномірного розсипання безпосередньо на місце можливого крапання або витоків. Процес ліквідації таких технологічних проливів є циклічним і виконується безпосередньо

персоналом, який здійснює технічне обслуговування (ТО) або ремонтні роботи, за чотириетапною схемою.

Етап 1: локалізація осередку витoku шляхом обвалування. Метою етапу є обмеження площі розтікання нафтопродукту по штучному покриттю промислового майданчика (чи підлоги цеху) та запобігання його потраплянню до технологічних дренажних систем або зливової каналізації. По периметру проливу виконується відсипка суцільного піщаного брустверу заввишки 10–15 см. Особлива увага приділяється блокуванню шляхів руху рідини в бік водовідвідних лотків, колодязів та приямків.

Етап 2: сорбційне насичення (засипання). Після стабілізації меж проливу здійснюється рівномірне покриття всієї поверхні плями піском від периферії (від піщаного брустверу) до центру джерела забруднення. Використовуваний пісок повинен бути сухим (просушеним та просіяним), адже наявність вологи різко знижує сорбційну здатність мінералу, оскільки капіляри заповнюються водою, що перешкоджає поглинанню в'язких нафтопродуктів (мастил, гідравлічних рідин, дизельного палива). Засипання місця проливу має бути виконане впродовж 1 години з моменту його утворення. Згідно з чинним на підприємстві Регламентом локалізації проливів ПММ на виробничих ділянках, нормативна питома витрата суміші становить 3 кг сухого піску на 1 літр пролітої речовини.

Етап 3: механічний збір відпрацьованого сорбенту. Для повної сорбції нафтопродукту піском встановлюється технологічний час витримки (експозиції), який, відповідно до зазначеного Регламенту, становить 2 години. Після завершення процесу вбирання, нафтонасичена маса збирається за допомогою іскробезпечного інструменту (лопат та щіток), що мінімізує ризик спалаху парів легких вуглеводнів від фрикційних іскор при терті об бетон чи асфальт. Відпрацьований сорбуючий матеріал переміщується у спеціально відведений герметичний резервуар для промислових відходів. Якщо після прибирання першого шару на поверхні

виявляються залишкові сліди паливно-мастильних матеріалів (ПММ), виконується повторне засипання місця розливу за аналогічною схемою.

Етап 4: фінішна санація, тобто деструкція масляної плівки. Оскільки після механічного збирання піску на бетоні чи асфальті залишається тонка технологічна масляна плівка, що створює небезпеку ковзання для персоналу та транспорту, проводиться фінішне очищення. Поверхня обробляється розчинами промислових поверхнево-активних речовин (ПАР) з подальшим протиранням, або засипається тонким шаром чистого сухого піску (замітання «насухо»).

Для забезпечення об'єктивності розрахунків та прийняття рішення про вибір матеріалу у виробничо-технічному бюро (ВТБ), мною було обрано єдину контрольну ділянку – секцію колії в зоні очікування тягових агрегатів.

Для розрахунку використано методику визначення поглинальної здатності інертних матеріалів. Як вихідні дані для розрахунку прийнято:

- площа забруднення (S): 45,514 м² (за даними QGIS, див. рис.2.4);
- тип нафтопродукту: дизельне пальне/мастило;
- середня щільність: $\rho \approx 850$ кг/м³;
- питома величина проливу (q): 0,8 л/м² (типовий показник для технологічних витоків при тривалій стоянці).

Загальний об'єм нафтопродукту ($V_{нп}$)

$$V_{нп} = S \cdot q = 45,514 \cdot 0,8 = 36,41 \text{ л} \quad (2.2)$$

Маса нафтопродукту:

$$m = V \cdot \rho = 36,41 \cdot 0,85 = 30,95 \text{ кг} \quad (2.3)$$

де V — об'єм проливу, який ми визначили раніше як 36,41 л (або 3,823 м³);

ρ — щільність нафтопродукту. Для дизельного пального та мастил, що використовуються в тепловозах гірничо-збагачувального комбінату (наприклад, мастила марки М-14В2 або дизпаливо літнє/зимове), середня щільність становить 850 кг/м^3 (або $0,85 \text{ кг/л}$) згідно з Національним стандартом України ДСТУ 4840:2007 [22]

Пісок діє переважно як фільтруючий бар'єр, що затримує нафтопродукт у порах.

Згідно Регламенту локалізації проливів ПММ на промислових ділянках цеху коефіцієнт нафтопоглинання (k_n) становить $0,33 \text{ л/кг}$ (нижчий за відсів через меншу пористість зерен кварцу).

Необхідна маса піску ($M_{\text{піск}}$):

$$M = \frac{V_{\text{нп}}}{k_n} = \frac{36,41}{0,33} = 110,3 \text{ кг} \quad (2.4)$$

Згідно регламенту локалізації проливів ПММ на виробничих ділянках, визначаємо необхідність піску в співвідношенні 3 кг сухого на 1 л проливу:

$$M = 36,41 \cdot 3 = 109,23 \text{ кг}$$

Таблиця 2.1 – Використання кар'єрного піску власного видобутку на гірничо-збагачувальному комбінаті як сорбенту для ліквідації нафтопроливів

Параметр	Пісок кар'єрний
Необхідна маса для локалізації $36,41 \text{ л, кг}$	110,3
Товщина рекомендованого шару засипки, см	4–5
Основна функція	Створення бар'єру (затвору)
Складність прибирання (механізовано)	Низька
Рекомендована зона застосування	Відкриті колії

Незважаючи на те, що піску потрібно 110,3 кг для ліквідації проливу, його використання є стратегічно важливим для створення «піщаних подушок» на коліях з високою водопроникністю основи та баласту.

Відходи утворюються в результаті прибирання проливів нафтопродуктів у транспортних цехах, механічних майстернях та на складі паливно-мастильних матеріалів, при експлуатації спецтехніки та обладнання.

Хімічний склад відходів, а саме піску забрудненого нафтопродуктами, наступний:

- оксид кремнію кристалічний (SiO_2) – 86.5 мас%;
- вуглеводні та їх кисневі, азотні або сірчані сполуки (C_nH_m) – 12,0 мас%;
- нерозчинні домішки (гравій, супутнє сміття) – 1,0 мас%;
- токсичні домішки (важкі метали) – <0,5 мас%

Забруднений ґрунт, пісок, глина, зокрема викопані земельні маси є потенційно небезпечними відходами, що містять один або більше компонентів, зазначених у додатку 2 до Порядку класифікації відходів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2023 р. № 1102 [23], і проявляють одну або більше властивостей, зазначених у додатку 3 до Закону України «Про управління відходами» [24].

Наявність небезпечних компонентів відходів, згідно з Додатком 2 Порядку [23]: С51 – Вуглеводні та їх киснево-, азото- та/або сірковмісні похідні.

Визначення небезпеки за кожною властивістю згідно з Додатком 1 Порядку [23]:

- НВ4 Подразнювальна здатність: небезпечна властивість відходів, що спричиняють подразнення шкіри чи пошкодження очей (Н315, Н319);
- НВ14 Екотоксичність: небезпечна властивість відходів, які

становлять або можуть становити безпосередній або віддалений ризик для навколишнього природного середовища (H411).

Класифікація відходів за Національним переліком відходів:

- 15 Відходи упаковки; сорбенти, обтиральне ганчір'я, фільтрувальні матеріали та захисний одяг, не визначені в інших групах;
- 15 02 Сорбенти, фільтрувальні матеріали, обтиральне ганчір'я та захисний одяг;
- 15 02 02* Сорбенти, фільтрувальні матеріали (включаючи оливні фільтри інакше не зазначені), обтиральне ганчір'я та захисний одяг, забруднені небезпечними речовинами.

Відпрацьований нафтонасичений пісок, що утворюється в результаті очищення цехових резервуарів та ліквідації проливів нафтопродуктів, класифікується як небезпечний відхід відповідно до Закону України «Про управління відходами» [24] (або III клас безпеки за раніше діючою класифікацією Закону України «Про відходи»).

Збирання та тимчасове накопичення зазначеного відходу здійснюється на спеціально обладнаному загальнозаводському майданчику тимчасового зберігання. Конструкція майданчика повинна забезпечувати повну ізоляцію відходу від навколишнього природного середовища та включати тверде гідроізоляційне покриття (асфальтобетон, бетон), захисні підпірні стінки (обвалування) та навіс для запобігання попаданню атмосферних опадів і вимивання нафтопродуктів у ґрунт та підземні води.

Кінцева утилізація накопиченого відходу здійснюється шляхом його передачі спеціалізованим підприємствам, які мають чинну ліцензію на здійснення господарської діяльності з управління небезпечними відходами. Знешкодження відходу виконується методами термічної деструкції, фізико-хімічної десорбції або біодеструкції. Використання відпрацьованого нафтонасиченого піску для внутрішніх господарських потреб комбінату, включаючи підсипання кар'єрних або відвальних

технологічних автомобільних шляхів, заборонено.

2.4 Обґрунтування та визначення необхідної кількості сорбенту «Еколан-М»

Нафтопоглинальний сорбент «Еколан-М» (ТУ У 24.6-35780370-001-2009 від 07.07.2009 р.) [25-27] є модифікованим препаратом серії «Еколан», призначеним для очищення ґрунтів, природних водойм, акваторій та стічних вод промислових підприємств, забруднених вуглеводнями нафти та нафтопродуктів.

Препарат розроблено Інститутом мікробіології і вірусології Національної академії наук України відповідно до вимог чинного законодавства України у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

Склад препарату включає композиції штамів мікроорганізмів (чотири види), здатних до синтезу поверхнево-активних речовин, що забезпечує деструкцію як розчинних, так і нерозчинних у воді компонентів нафти. Концентрація мікроорганізмів у препараті становить близько 1×10^8 клітин у 1 г сорбенту [11, 26-27].

Мікроорганізми препарату здатні функціонувати у широкому діапазоні умов: мінералізації середовища (0,05–7,0 %), температури (+10...+40 °С) та показника рН (4,5–9,0). Вони забезпечують біодеструкцію широкого спектра вуглеводнів, зокрема сирої нафти, мінеральних олив, дизельного палива, бензину та гасу. Кінцевими продуктами розкладу є екологічно нейтральні сполуки, що не чинять негативного впливу на навколишнє середовище [11, 26-27].

Оцінка рівня забруднення нафтопродуктами та контроль якості очищення можуть здійснюватися відповідно до чинних стандартів, зокрема ДСТУ EN 12662:2022 «Рідкі нафтопродукти. Визначення загального забруднення середніх дистиллятів» та інших нормативних

документів у сфері контролю якості нафтопродуктів.

При оцінці екологічного стану ґрунтів слід враховувати нормативи гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин, встановлені постановою Кабінету Міністрів України №1325 від 15.12.2021 р. [28].

Після завершення процесу очищення відбувається відмирання мікроорганізмів із подальшим перетворенням їх біомаси на органічні речовини, що сприяють відновленню природної мікрофлори та екосистеми.

Виробництво препарату здійснюється на вуглеводному субстраті, що забезпечує адаптацію мікроорганізмів до умов забрудненого середовища та виключає необхідність попередньої активації перед застосуванням.

Застосування препарату не потребує подальшого збирання та утилізації відпрацьованого сорбенту як небезпечного відходу.

Препарат виготовляється з рослинної сировини, не містить патогенних мікроорганізмів та відповідає вимогам чинного санітарного законодавства України.

Розрахунок кількості біосорбенту типу «Еколан-М» для ліквідації нафтового забруднення

Об'єм розлитого нафтопродукту визначається за формулою (2.2):

$$V = S \cdot h = 45,514 \cdot 0,2 = 9,1 \text{ м}^3$$

Маса розливої речовини визначається за формулою (2.3)

$$m = \rho \cdot V = 0,8274 \cdot 9,1 = 7,53 \text{ кг}$$

Для біосорбентів типу «Еколан-М» приймається середня сорбційна здатність:

$q=3$ кг нафтопродукту / 1 кг сорбенту

З урахуванням втрат, нерівномірності нанесення та польових умов вводиться коефіцієнт запасу: $k = 1,2-1,5$ (приймаємо 1,3).

Розрахунок необхідної маси сорбенту:

$$M_c = \frac{m}{q} \cdot 1,3 = \frac{7,53}{3} \cdot 1,3 = 3,26 \text{ кг} \quad (2.5)$$

Розрахунок кількості та класифікація відходів, що утворюються на залізничних коліях ГЗК, виконується відповідно до Національного переліку відходів та Порядку класифікації відходів [25]. Для визначення обсягів утворення специфічних промислових відходів використано чинні галузеві методики гірничо-збагачувального комбінату [4].

2.5 Визначення кількості основних видів відходів, які утворюються під час виконання технологічних процесів та робіт з ліквідації нафтопродуктів в залізничному цеху

Проведемо розрахунки на завантаженість виробництва концентрату – 3 тис. т/рік (дод. Б).

Відпрацьовані технічні масла є відходами рідкої консистенції і утворюються в результаті роботи паливних систем залізничного транспорту, а також роботи технологічного обладнання та механізмів.

Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України «Деякі питання збирання, видалення, знешкодження та утилізації відпрацьованих мастил(олив)» від 17 грудня 2012 р. № 1221 [29]: «10. Для всіх суб'єктів господарювання-споживачів мастил (олив) норма збирання та утилізації відпрацьованих мастил (олив) встановлюється у розмірі 40% загального обсягу мастил (олив), які вони використовують».

Відпрацьовані масла розраховані за максимальною річною

витратою масел 7,642 т. Таким чином нормативно-допустимий обсяг утворення відпрацьованих масел може бути визначений на рівні:

$$H_{н. доп.} = 7,642 \cdot 0,4 = 3,06 \text{ т}$$

З урахуванням показників робіт, що виконуються, продуктивність за концентратом Q – 3000 тис.т/рік, норматив питомого утворення відпрацьованих масел дорівнює:

$$H_{пит.} = \frac{3,06}{3000} = 0,00102 \text{ т/тис.т концентрата}$$

Відпрацьовані масла відносяться до відходів III класу небезпеки (Закон України «Про відходи») або до небезпечних (Закон України «Про управління відходами» [24]). При накопиченні передаються спеціалізованій організації за договором.

Фільтри залізничного транспорту відпрацьовані утворюються в процесі експлуатації залізничного транспорту. Згідно ДСТУ 4468:2005 «Вимоги до фільтрів для систем мастила і паливних систем транспортних засобів. Загальні технічні умови» та Інструкції з технічного обслуговування залізничного транспорту масляні та паливні фільтра підлягають заміні на залізничному транспорті через 40 діб [30].

Вага використаного фільтра: масляний – 0,8 кг, паливний – 0,5 кг.

Норматив забруднення фільтрів нафтопродуктами складає до 40%

Кількість операцій по заміні фільтрів при виході підприємства на проектну потужність складає 9000, з них: масляний – 1500 шт., паливний – 3000 шт.

Отже, нормативно-допустимий об'єм утворення фільтрів відпрацьованих складає:

$$H_{н.доп} = (1500 \cdot 0,8 + 3000 \cdot 0,5) \cdot 10^{-3} = 2,7 \text{ т/рік}$$

З урахуванням показників робіт, продуктивність за концентратом $Q = 3$ тис. т/рік, норматив питомого утворення фільтрів відпрацьованих дорівнює:

$$H_{пит} = \frac{2,7}{3000} = 0,00092 \text{ т/тис.т концентрата}$$

Відходи представлено нерозібраним устаткуванням – автомобільними масляними та паливними фільтрами, утвореними в результаті обслуговування автотранспортних засобів та спецтехніки.

Хімічний склад:

- нафтопродукти змішані технічні – (C_nH_m) – 21,0 мас%;
- тканина, або папір фільтрувальні $(C_6H_{10}O_5)$ – 48,0 мас%;
- пластмаса, метал $(C_3H_6)_n, Fe$ – 31,0 мас%.

Наявність небезпечних компонентів відходів, згідно з Додатком 2 Порядку [23]: C51 – Вуглеводні та їх киснево-, азото- та/або сірковмісні похідні.

Визначення небезпеки за кожною властивістю згідно з Додатком 1 Порядку [23]:

- HВ4 Подразнювальна здатність: небезпечна властивість відходів, що спричиняють подразнення шкіри чи пошкодження очей (H315, H319);
- HВ14 Екотоксичність: небезпечна властивість відходів, які становлять або можуть становити безпосередній або віддалений ризик для навколишнього природного середовища (H411).

Класифікація відходів за Національним переліком відходів:

- 15 Відходи упаковки; сорбенти, обтиральне ганчір'я, фільтрувальні матеріали та захисний одяг, не визначені в інших групах

- 15 02 Сорбенти, фільтрувальні матеріали, обтиральне ганчір'я та захисний одяг

- 15 02 02* Сорбенти, фільтрувальні матеріали (включаючи оливні фільтри інакше не зазначені), обтиральне ганчір'я та захисний одяг, забруднені небезпечними речовинами

Фільтри відпрацьовані відносяться до відходів III класу небезпеки (Закон України «Про відходи») або небезпечні (Закон України «Про управління відходами» [24]). При накопиченні передаються спеціалізованій організації за договором.

Утворення ганчір'я промасленого відбувається при технічному обслуговуванні, ремонті залізничного транспорту та технологічному обслуговуванні підприємства, а також внаслідок вибуття забруднених спец рукавичок.

Як обтиральний матеріал використовуються відходи текстилю. За мірою використання обтиральні матеріали забруднюються нафтопродуктами, частинками металу та іншими матеріалами, речовинами, які накопичуються, призводять до остаточного забрудненню текстильного матеріалу-промасленого ганчір'я.

Відомий склад відходів: використане ганчір'я.

Хімічний склад:

- Тканина бавовняна $(C_6H_{10}O_5)_n$ – 71,82 мас%;
- вуглеводні та їх кисневі, азотні або сірчані сполуки (C_nH_m) – 27,68 мас%
- інші домішки (важкі метали) – <0,5 мас%

Нафтопродукти є потенційно небезпечними відходами, що містять один або більше компонентів, зазначених у додатку 2 до Порядку класифікації відходів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2023 р. № 1102 [23], і проявляють одну або більше властивостей, зазначених у додатку 3 до Закону України «Про управління відходами» [24].

Наявність небезпечних компонентів відходів, згідно з Додатком 2 Порядку [23]: С51 – Вуглеводні та їх киснево-,азото- та/або сірковмісні похідні.

Визначення небезпеки за кожною властивістю згідно з Додатком 1 Порядку [23]:

- НВ4 Подразнювальна здатність: небезпечна властивість відходів, що спричиняють подразнення шкіри чи пошкодження очей (Н315, Н319)

- НВ14 Екотоксичність: небезпечна властивість відходів, які становлять або можуть становити безпосередній або віддалений ризик для навколишнього природного середовища (Н411)

Класифікація відходів за Національним переліком відходів:

- 15 Відходи упаковки; сорбенти, обтиральне ганчір'я, фільтрувальні матеріали та захисний одяг, не визначені в інших групах

- 15 02 Сорбенти, фільтрувальні матеріали, обтиральне ганчір'я та захисний одяг

- 15 02 02* Сорбенти, фільтрувальні матеріали (включаючи оливні фільтри інакше не зазначені), обтиральне ганчір'я та захисний одяг, забруднені небезпечними речовинами

Норматив утворення відходів обчислюється за формулою:

$$Hn.доп. = V \cdot K_n, \text{ т}, \quad (2.6)$$

де V – максимальна кількість необхідного ганчір'я, в середньому $V = 5 \text{ т}$;

K_n – коефіцієнт забруднення матеріалу, характерний збільшення маси ганчір'я. K_n приймається – 1,0783 (за внутрішньою документацією гірничо-збагачувального комбінату) [4].

Нормативно допустимий об'єм утворення промаслених обтиральних кінців:

$$Hn.дop_1 = 5 \cdot 1,0783 = 5,391 \text{ т/рік}$$

Утворення промасленого ганчір'я відбувається під час технічного обслуговування, ремонту транспорту та технологічного обладнання підприємства, а також внаслідок вибуття забруднених спецрукавичок бавовняних та брезентових рукавиць. До складу групи відходів входять також забруднені спец рукавиці.

Приймаємо що в залізничному цеху працює 500 робітників які забезпечуються захисними бавовняними рукавицями, термін заміни яких складає 2 пари на місяць. Вага однієї пари 22-100г.

Окрім того щорічно працівникам видається приблизно 1050 пар брезентових рукавиць. Вага 1 пари – 75-130г.

Нормативно-допустимий об'єм утворення забруднених рукавиць:

$$Hn.дop_2 = (500 \cdot 12 \cdot 100 + 1050 \cdot 130) \cdot 1,0783 \cdot 10^{-6} = 0,794 \text{ т/рік}$$

Таким чином, загальний нормативно-допустимий об'єм утворення промасленого ганчір'я, дорівнює:

$$Hn.дop. = 5,391 + 0,794 = 6,185 \text{ т/рік}$$

З урахуванням показників робіт, продуктивність за концентратом $Q = 3$ тис.т/рік, норматив питомого утворення промасленого ганчір'я дорівнює:

$$H_{пит} = \frac{6,185}{3000} = 0,0021 \text{ т/тис.т концентрата}$$

Промаслене ганчір'я відносяться до відходів III класу небезпеки (Закон України «Про відходи») або небезпечні (Закон України «Про управління відходами») [24]. При накопиченні передаються спеціалізованій організації за договором.

Пісок використовується для очищення розливів нафти, паливно-мастильних матеріалів в залізничному цеху. В результаті утворюються промислові відходи – промаслений пісок. Розрахунок нормативно-попереджувального обсягу утворення піску, забрудненого нафтопродуктами, може здійснюватися за формулою:

$$N_{умв} = V \cdot G, \text{ т/рік} \quad (2.7)$$

де V – максимальна витрата піску, в середньому $V = 6$ т/рік;

G – коефіцієнт вмісту нафтопродуктів 1,0443 [4]

Отже, нормативно допустимий об'єм утворення піска, забрудненого нафтопродуктами, становить:

$$N_{н.доп} = 6 \cdot 1,0443 = 6,266 \text{ т/рік}$$

З урахуванням показників робіт, продуктивність за концентратом $Q = 3000$ тис.т/рік, норматив питомого утворення промасленого піска забрудненого нафтопродуктами дорівнює:

$$N_{пит.} = \frac{6,266}{3000} = 0,0021 \text{ т/тис.т концентрата}$$

Забруднений пісок – відходи твердої фракції, містять нафтопродукти в кількості 4,43% – III класу небезпеки (Закон України «Про відходи») або небезпечні (Закон України «Про управління відходами») [24]. За мірою

накопичення передаються спеціалізованій організації за договором.

Розглянемо шпали залізобетонні відпрацьовані як утворені відходи.
Відомий склад відходів : шпали залізобетонні пошкоджені, крихта.

Хімічний склад:

а) залізобетон – 99,5 мас.% у складі: цемент ($3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) – 20,0 мас.%; пісок – 40,0 мас.%; граніти природні – 20,0 мас.%; залізо (арматура) – 17,5 мас.%;

б) нафтопродукти змішані – <0,5 мас.%.

Джерело утворення (технологічні процеси, в наслідок яких утворюються відходів: Ремонтні роботи на залізничних коліях.

Наявність небезпечних компонентів відходів, згідно з Додатком 2 Порядку [23]: відсутні.

Визначення небезпеки за кожною властивістю згідно з Додатком 1 Порядку [23]: не застосовується.

Класифікація відходів за Національним переліком відходів:

- 17 – Відходи будівництва та знесення (включаючи ґрунт, знятий із забруднених ділянок);

- 17 01 – Бетон, цегла, облицювальна плитка та кераміка;

- 17 01 07 – Суміші або окремі фракції бетону, цегли, облицювальної плитки та кераміки інші, ніж зазначені кодом 17 01 06.

При проведенні ремонтних робіт на залізничній колії здійснюється:

1) заміна (переукладання) пошкоджених шпал на нові залізобетонні;

2) очищення щебеневого шару на глибину не менше 20-25 см, відновлення забрудненого баласту на глибину не менше 15 см під шпалою (підйом колії на шар нового баласту або заміна старого), або розміщення колії на баласті з більшою несучою здатністю;

3) заміна стрілочних переводів на нові, що відповідають типу рейок, що укладаються з суцільною заміною передавальних балок, очищенням щебеневого шару на всю глибину або з розміщенням на щебені або гравії.

Стандартна ширина баластного шару становить: $h = 2,1$ м, товщина – $b = 0,2$ м, Насипна маса баласту – $\rho = 1,8$ т/м³.

Тоді нормативно допустимий обсяг баластного утворення залізничних колій можна визначити за виразом:

$$N_{н.доп} = L \cdot h \cdot b \cdot \rho, \text{ т/рік} \quad (2.8)$$

де L – довжина залізничної колії, на якій проводиться заміна баластного шару, м;

1,055 – норматив збільшення маси щебеню на предмет його забруднення [4]

Максимальна заміна промасленого залізничного баласту на підприємстві проводиться на ділянці залізничного полотна протяжністю близько 100 м.

Нормативно допустимий обсяг змащеного залізничного баласту становить наступний:

$$N_{н.доп} = 100 \cdot 2,1 \cdot 0,2 \cdot 1,8 \cdot 1,055 = 79,758 \text{ тон}$$

З урахуванням показників робіт, продуктивність за концентратом $Q = 3000$ тис.т/рік, норматив питомого утворення промасленого залізничного баласту дорівнює:

$$N_{пум} = \frac{79,758}{3000} = 0,027 \text{ т/тис.т концентрата}$$

Розглянемо баласт залізничний промаслений як утворені відходи.

При проведенні ремонтних робіт на залізничній колії здійснюється очищення щебеневого шару, в результаті утворюється відходи – баласт

залізничний промаслений.

Відомий склад відходів: щебень гранітний, пісок, гравій, супутнє сміття.

Хімічний склад:

- щебінь гранітний фракцій 20 – 40 см – 85,5 мас %;
- нерозчинні домішки (пісок, дрібний гравій, супутнє сміття) – 10,0 мас.%;
- нафтопродукти змішані – 4,0 мас.% (39800,0 мг/кг);
- важкі метали – $\leq 0,5$ мас.%.

Наявність небезпечних компонентів відходів, згідно з Додатком 2 Порядку [23]: С51 Вуглеводні та їх киснево-,азотно- та/або сірковмісні похідні.

Визначення безпеки за кожною властивістю згідно з Додатком 1 Порядку [23]:

- НВ4 Подразнювальна здатність: небезпечна властивість відходів, що спричиняють подразнення шкіри чи пошкодження очей (Н315, Н318);
- НВ14 Екотоксичність: небезпечна властивість відходів, які становлять або можуть становити безпосередній або віддалений ризик для навколишнього природного середовища (Н411).

Класифікація відходів за Національним переліком відходів [23]:

- 17 – Відходи будівництва та знесення (включаючи ґрунт, знятий із забруднених ділянок)
- 17 05 – Ґрунт (включаючи ґрунт із забруднених ділянок), каміння та ґрунт від днопоглиблювальних робіт
- 17 05 07* – Дорожній баласт (щебінь), що містить небезпечні речовини.

Промаслений залізничний баласт відноситься до відходів III класу безпеки (Закон України «Про відходи») або небезпечні (Закон України «Про управління відходами») [24]. Передається спеціалізованій організації за договором.

Відпрацьовані дерев'яні шпали і бруси, в т.ч забруднена деревина, як утворені відходи розглянуті нижче.

Утворення відходів відпрацьованих дерев'яних шпал і брусів, в т.ч. забрудненої деревини умовлене виконанням будівельних і ремонтних робіт приміщень. Для залізничних колій, в кар'єрі підприємства використовуються дерев'яні шпали та дерев'яні балки стрілочних переводів. Залізничні дерев'яні шпали і балки мають спеціальне просочення, яка захищає деревину від гниття, а також слідів нафтопродуктів.

Відомий склад відходів: шпали, балки залізничних колій, інша забруднена деревина.

Хімічний склад:

- деревина $(C_6H_{10}O_5)_n$ – 97,1 мас.%;
- смола кам'яновугільна (креозот, в т.ч. фенольні сполуки C_6H_6O) – 2,9 мас.%.

Джерело утворення (технологічні процеси, в наслідок яких утворюються відходи):

- Ремонт залізничних колій.

Наявність небезпечних компонентів відходів, згідно з Додатком 2 Порядку [23]: С 51 Вуглеводні та їх киснево-, азото- та/або сірковмісні похідні.

Нафтопродукти є потенційно небезпечними відходами, що містять один або більше компонентів, зазначених у додатку 2 до Порядку класифікації відходів [23], затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2023 р. № 1102, і проявляють одну або більше властивостей, зазначених у додатку 3 до Закону України «Про управління відходами» [24].

Визначення небезпеки за кожною властивістю згідно з Додатком 1 Порядку:

- НВ4 – Подразнювальна здатність: небезпечна властивість

відходів, що спричиняють подразнення шкіри чи пошкодження очей (H314, H318);

- H35 – Вибіркова токсичність для окремих органів-мішеней (ВТОМ)/токсичність при аспірації: небезпечна властивість відходів, які можуть виявляти вибірккову токсичність для окремих органів за одноразового або повторюваного впливу або можуть спричинити гострі токсичні ефекти внаслідок аспірації (H373);

- H41 – Екотоксичність: небезпечна властивість відходів, які становлять або можуть становити безпосередній або віддалений ризик для навколишнього природного середовища (H411).

Класифікація відходів за Національним переліком відходів:

- 17 – Відходи будівництва та знесення (включаючи ґрунт, знятий із забруднених ділянок);

- 17 02 – Деревина, скло та пластмаси;

- 17 02 04 * – Деревина, скло та пластмаси, що містять або забруднені небезпечними речовинами.

Протяжність залізничної колії що експлуатується 154 км, у тому числі на дерев'яних шпалах 55 км. Загальна кількість стрілочних переводів – 245 шт. Згідно нормативним даним на одному кілометрі колії вкладено 1840 шт. шпал, при цьому маса шпали – 0,055т.

Один комплект нового стрілочного переводу складається з 59 дерев'яних брусів різної довжини, загальною вагою 6,950т.

На підприємстві прийняті наступні норми витрати дерев'яних шпал на ремонті залізничних колій на 1км колії:

- на поточний ремонт постійних колій – 100 шт;

- для підйомний ремонт – 100 шт;

- на капітальний ремонт – 1840 шт

- для середнього ремонту – 480 шт;

- на поточний ремонт пересувних колій – 100 шт.

Розрахунок нормально-допустимого обсягу формування шпали-

дрова і бруси-дрова стрілочних переводів можна розрахувати за формулою:

$$H_{н.доп.}=[(\sum_i^n H \cdot П) \cdot m_1 \cdot Б \cdot m_2], \text{ т/рік} \quad (2.9)$$

- де H – норма витрати шпал на 1 км по одному виду ремонту, шт;
- $П$ – довжина шляху, що підлягає виду ремонту, км;
- $Б$ – кількість комплектів брусів, витрачених на ремонт у звітному році, шт;
- m_1, m_2 – вага 1 шпали і вага комплекту брусів на 1 стрілочний перевід відповідно 0,055 і 6,95 т;
- n – види ремонтних робіт;

Аналіз статистичних даних показав, що протягом останніх 2 років щорічно проводилося 6 км капітального ремонту колії, 2 км середнього, 8 км поточного та 12,0 підйомного ремонту, а також ремонту підлягало від 7 до 10 стрілочних переводів, тому загальна кількість шпал, що використовуються для укладки у всіх видах ремонту, становитиме:

$$(1840 \cdot 6 + 480 \cdot 2 + 200 \cdot 8 + 100 \cdot 12) = 14800 \text{ шт.}$$

За даними складського обліку залізничного цеху за рік в середньому утворюється, оприбутковується на склад як шпали б/в, що використовуються для повторного укладання, приблизно 13000 шт. та 1 комплект стрілочних переводів б/в.

Отже, в шпали-дрова актується:

$$14800 - 13000 = 1800 \text{ шт.}$$

В бруси-дрова актується:

$$10 - 1 = 9 \text{ комплектів стрілочних переводів.}$$

При цьому, в ході виконання капітального ремонту при піднятті краном ланок залізничного полотна, порушується цілісність деревини шпал і брусів та у вигляді пилю, які не вдається зібрати, втрачається 1,5-2% цього виду відходів. Коефіцієнт зносу шпал та брусів в результаті їх експлуатації складає 0,15.

Нормативно допустимий обсяг:

$$H_{н.доп} = (1800 \cdot 0,055 + 9 \cdot 6,95) \cdot (1 - 0,15) \cdot (1 - 0,02) = 134,571 \text{ т/рік}$$

З урахуванням показників робіт, продуктивність за концентратом $Q = 3000$ тис.т/рік, норматив питомого утворення відходів шпали-дрова та бруси-дрова стрілочних переводів дорівнює:

$$H_{пит} = \frac{134,571}{3000} = 0,046 \text{ т/тис.т концентрата}$$

Шпали-дрова та бруси-дрова стрілочних переводів відноситься до відходів IV класу небезпеки (Закон України «Про відходи») або не є небезпечні (Закон України «Про управління відходами») [24]. Даний вид відходу вдруге використовується при повторному укладанні або передається на реалізацію населенню.

Перелік розглянутих основних видів виробничих відходів залізничного цеху наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік видів виробничих відходів залізничного цеху

№	Найменування відходу	Клас небезпеки (Закон України «Про відходи»)	Клас небезпеки (Закон України «Про управління відходами»)	Джерело утворення
1	Відпрацьовані масла	III	небезпечні	В результаті роботи паливних систем залізничного транспорту, а також роботи технологічного обладнання та механізмів
2	Фільтри транспорту відпрацьовані	III	небезпечні	Утворюються в процесі експлуатації залізничного транспорту
3	Ганчір'я промаслене	III	небезпечні	В процесі технічного обслуговування та ремонту обладнання
4	Пісок, забруднений нафтопродуктами	III	небезпечні	Утворюється від збирання проливів нафтопродуктів
5	Тара забруднена	III	небезпечні	Вивільнення забрудненої упаковки та тари
6	Баласт залізничний промаслений	III	небезпечні	Заміна забрудненого залізничного баласту при ремонті залізничного полотна
7	Накладки гальмівних колодок відпрацьовані	IV	Не є небезпечні	Заміна накладок гальмівних колодок для залізничного транспорту
8	Шпали-дрова та бруси-дрова стрілочних переводів	IV	Не є небезпечні	Ремонт або переукладання залізничних колій

Екологічні та безпекові вимоги:

- своєчасне виявлення і адекватне управління всіма суттєвими екологічними аспектами для забезпечення відповідного рівня екологічної безпеки виробничих об'єктів і процесів комбінату;
- формування комплексу запобіжних заходів для виключення можливості виникнення, або для локалізації аварійних ситуацій можливого забруднення навколишнього середовища;
- забезпечення своєчасного ознайомлення і дотримання вимог з охорони навколишнього середовища всіма працівниками, а також підрядними організаціями, контрагентами і постачальниками послуг, які працюють на території комбінату, так і поза її межами;
- забезпечення високого рівня екологічної культури працівників комбінату, шляхом їх централізованого навчання питанням охорони

навколишнього середовища;

- систематичне здійснення моніторингу стану довкілля комбінату(повітря, ґрунту та водойм) і забезпечення доступу до даної інформації громадськості;

- своєчасний розгляд всіх повідомлень від населення, що стосується суттєвих екологічних аспектів, або інших проблем, пов'язаних з навколишнім середовищем комбінату і адекватне реагування на кожне повідомлення;

- своєчасний перегляд, коригування вдосконалення політики комбінату у галузі навколишнього середовища.

2.6 Розрахунок маси утворення забрудненого сорбенту як відходу

Аналіз обсягів утворення відходів окремо для літнього та зимового періодів є критично важливим через принципову зміну механізму дії біосорбенту залежно від температури навколишнього середовища. У теплий період року (більше +10 °C) завдяки активній життєдіяльності мікроорганізмів відбувається швидка деструкція та мінералізація нафтопродуктів до безпечних сполук, що дозволяє класифікувати відпрацьований сорбент за безпечним кодом 15 02 03 згідно з Національним переліком відходів [26-27]. Натомість у зимовий період (менше -10 °C) бактерії переходять у стан анабіозу, внаслідок чого «Еколан-М» працює лише як фізичний акумулятор забруднення, консервуючи в собі незмінені токсичні вуглеводні. Це призводить до появи в хімічному складі відходу небезпечного компонента С51 відповідно до Додатку 2 Порядку класифікації відходів [23], через що зимові залишки автоматично отримують статус небезпечного відходу за кодом 15 02 02* та вимагають оцінки за властивостями НВ4 та НВ14 згідно з критеріями Додатку 1 цього ж Порядку [23].

Для ліквідації проливів нафтопродуктів використовується біодеструктивний нафтопоглинаючий сорбент «Еколан-М» [26].

Розглянемо сорбенти для ліквідації проливів нафтопродуктів забруднені.

Відходи утворюються при використанні сорбенту в холодний період року (менше – 10 С°).

Хімічний склад:

- матеріали природні сорбційні (торф, тирса тощо – 95,0 мас.%;
- органічна речовина бактеріальної біомаси – 2,5 мас%;
- нафтопродукти змішані – 2,5 мас.%.

Наявність небезпечних компонентів відходів, згідно з Додатком 2 Порядку [23]: С51 – Вуглеводні та їх киснево-,азото- та/або сірковмісні похідні, не зазначені у цьому додатку.

Визначення небезпеки за кожною властивістю згідно з Додатком 1 Порядку [23]:

- НВ4 Подразнювальна здатність: небезпечна властивість відходів, що спричиняють подразнення шкіри чи пошкодження очей (Н315, Н318);

- НВ14 Екотоксичність: небезпечна властивість відходів, які становлять або можуть становити безпосередній або віддалений ризик для навколишнього природного середовища (Н411).

Підприємство має право прийняти рішення не проводити оцінювання небезпечних властивостей відходів і тоді класифікувати відходи за кодом, який позначений символом «*».

Класифікація відходів за Національним переліком відходів [23]:

- 15 Відходи упаковки; сорбенти, обтиральне ганчір'я, фільтрувальні матеріали та захисний одяг, не визначені в інших групах;

- 15 02 Сорбенти, фільтрувальні матеріали, обтиральне ганчір'я та захисний одяг;

- 15 02 02* Сорбенти, фільтрувальні матеріали (включаючи

оливні фільтри інакше не зазначені), обтиральне ганчір'я та захисний одяг, забруднені небезпечними речовинами.

Розглянемо сорбенти для ліквідації проливів нафтопродуктів в теплий період року (більше + 10 C°).

Хімічний склад:

- структуратори ґрунту (торф, тирса – 96,5 мас.%;
- вуглеводні та їх кисневі, азотні або сірчані сполуки (C_nH_m) – <2,0 мас.%;
- нерозчинні домішки (гравій, супутнє сміття) – 1,0 мас.%;
- токсичні домішки (важкі метали) – <0,5 мас.%.

Наявність небезпечних компонентів відходів, згідно з Додатком 2 Порядку [23]: Відсутні.

Визначення небезпеки за кожною властивістю згідно з Додатком 1 Порядку [23]: Не застосовується.

Класифікація відходів за Національним переліком відходів:

- 15 Відходи упаковки; сорбенти, обтиральне ганчір'я, фільтрувальні матеріали та захисний одяг, не визначені в інших групах;
- 15 02 Сорбенти, фільтрувальні матеріали, обтиральне ганчір'я та захисний одяг;
- 15 02 03 Сорбенти, фільтрувальні матеріали (включаючи оливні фільтри інакше не зазначені), обтиральні матеріали та захисний одяг інші, ніж зазначені за кодом 15 02 02.

Маса відходу визначається як сума використаного сорбенту та поглинутого забруднювача [4]:

$$M_{\text{вiдх}} = M_c + m = 3,26 + 7,53 = 10,79 \text{ кг} \quad (2.10)$$

Урахування експлуатаційних втрат (наприклад, просипів сорбенту та рівня деструкції нафтопроливів) вводимо коефіцієнт $k=1,05$. У

відповідності до практики розрахунків у звітах про інвентаризацію джерел утворення та видів відходів, що враховує втрати сорбенту [4]:

$$M'_{\text{відх}} = M_{\text{відх}} \cdot k = 10,79 \cdot 1,05 = 11,33 \text{ кг} \quad (2.11)$$

Препарат «Еколан» надходить на підприємство в поліетиленових (поліпропіленових) двошарових мішках. Маса сировини в одиниці упаковки — 25 кг, маса мішка — 0,150 кг (двошарового). Коефіцієнт втрат маси поліетилену (поліпропілену) під час транспортування та зберігання — 15% [4].

Розрахунок відходів упаковки.

Біопрепарати такого типу зазвичай постачаються у поліетиленових мішках

$$N = \frac{M_c}{25} = \frac{3,26}{25} = 0,13 \text{ кг} \approx 1 \text{ шт} \quad (2.12)$$

де M_c - розрахункова необхідна маса сорбенту, кг;

25 - маса сорбенту в 1 упаковці, кг.

Згідно з практикою нормування виробничих розрахунків, упаковка враховується окремо:

$$M_{\text{уп}} = n \cdot m_{\text{од}} = 1 \cdot 0,150 = 0,15 \text{ кг} \quad (2.13)$$

Загальний обсяг утворення відходів

$$M_{\Sigma} = M'_{\text{відх}} + M_{\text{уп}} = 11,33 + 0,15 = 11,48 \text{ кг} \quad (2.14)$$

Результати розрахунку зводимо до табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результатів розрахунку

Вид відходу	Код за Національним переліком відходів	Маса, кг	Характеристика
Сорбенти забруднені небезпечними речовинами в зимовий період	15 02 02*	11,33	Небезпечний
Сорбенти, фільтрувальні матеріали (включаючи оливні фільтри інакше не зазначені), обтиральні матеріали та захисний одяг інші, ніж зазначені за кодом 15 02 02	15 02 03	10,79	Не є безпечний
Полімерна упаковка	15 01 02	0,15	Не є безпечний

Джерело утворення (технологічні процеси, в наслідок яких утворюються відходи): Використані тари та упаковки.

Наявність небезпечних компонентів відходів, згідно з Додатком 2 Порядку [23]: Не застосовується.

Визначення небезпеки за кожною властивістю згідно з Додатком 1 Порядку [23]: Не застосовується.

Використані тари та упаковки є відходами, що не є небезпечними та не можуть бути віднесені до кодів, що визначають небезпечні відходи, і не потребують подальшої оцінки.

Класифікація відходів за Національним переліком відходів [23]:

- 15 Відходи упаковки; сорбенти, обтиральне ганчір'я, фільтрувальні матеріали та захисний одяг, не визначені в інших групах;
- 15 01 Упаковка (включаючи роздільно зібрану упаковку з побутових відходів);
- 15 01 02 Пластмасова упаковка.

Усі відпрацьовані сорбенти, забруднене нафтопродуктами ганчір'я, шлами та інші матеріали, що утворюються під час ліквідації технологічних витоків паливно-мастильних матеріалів (ПММ), належать до категорій небезпечних відходів. Поводження з ними на підприємстві здійснюється суворо відповідно до чинного природоохоронного законодавства України [24] та внутрішніх екологічних інструкцій тощо [4].

Висновки за розділом 2

Оптимізовано процес оцінки забруднення ділянки залізничного цеху за використанням інструментарію QGIS та обґрунтовано використання матеріалів гірничорудного кар'єру як засобу для оперативної локалізації технологічних нафтопротівів. За використанням інтегрованого калькулятора QGIS реалізовано розрахунок кількості можливої міграції нафтопродукту (3,8 м³) при умовно прийнятій площі забруднення 45,5 м².

Розглянуті основні види відходів, які утворюються під час робіт з ліквідації нафтопротівів на залізничних коліях, з їх деталізацією за Порядком класифікації відходів та Національним переліком відходів, а саме: 15 02 02* – фільтри залізничного транспорту відпрацьовані, 15 02 02* – промаслене ганчір'я, забруднений пісок, 17 01 07 – шпали залізобетонні відпрацьовані, 17 05 07* – баласт залізничний промаслений, 17 02 04* – відпрацьовані дерев'яні шпали і бруси, 15 02 02* – відпрацьований сорбент (в холодну пору року), 15 02 03 – сорбент (в теплу пору року), 15 01 02 – полімерна упаковка тощо.

Описані особливості організації і технології робіт з ліквідації нафтопротівів з залізничних колій, які враховують пошарове укладання баласної призми, відмінності швидкості розтікання нафтопродуктів за різних температурних умов навколишнього середовища, а також враховують вид сорбуючого матеріалу. Організація очисних робіт складається за умовно розподіленими етапами робіт: локалізація осередку витоків шляхом обвалування, рівномірне покриття витоків, механічний збір відпрацьованого сорбенту, деструкція масляної плівки.

Для умовно розглянутого в роботі нафтопротіву, розміром 45,5 м², необхідно піску з кар'єру ГЗК 110,3 кг, а необхідна маса сорбенту 3,26 кг.

Оперативне реагування та ліквідація нафтового забруднення баласної призми дозволяє попередити забруднення ґрунтового покриву.

Проведений аналіз параметрів застосування іммобілізованого

сорбенту «Еколан-М» довели його високу деструктивну здатність, що дозволяє забезпечити надійне екологічне очищення баластного шару без порушення графіку експлуатації залізничних колій.

3 КОМПЛЕКСНІ ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ З ОЧИЩЕННЯ БАЛАСТНОГО ШАРУ ВІД НАФТОПРОДУКТІВ

3.1 Вплив забруднення нафтопродуктами мінеральних матеріалів на геомеханічну стійкість баластної призми залізничної колії

Згідно з вимогами ДБН В.2.3-19:2025 [31], баластна призма є ключовим конструктивним елементом колії, що сприймає стискальні та зсувні напруження. Стабільність рейко-шпальної решітки безпосередньо залежить від опору баласту поздовжньому та поперечному зсуву. Попадання у баластну призму відсіву залізистих кварцитів, забрудненого нафтопродуктами, ініціює ряд деструктивних процесів, що суперечать нормативним експлуатаційним показникам.

Фундаментальною умовою стійкості баласту за ДБН В.2.3-19:2025 [31] є забезпечення високого коефіцієнта внутрішнього тертя (φ). Чистий щебінь фракції 40-70 мм працює за рахунок заклинювання гострогранних часток.

При попаданні промасленого відсіву на поверхні щебеню утворюється сорбційно-сольватний шар нафтопродукту. Ця тонка плівка (товщиною в кілька мікрон) перетворює сухе тертя між гранями на граничне або рідке тертя.

Внутрішній кут тертя щебеню знижується з нормативних 35-42° до критичних 20-25°. Це призводить до того, що під динамічним навантаженням від рухомого складу частки щебеню починають «проковзувати» одна відносно одної, викликаючи лавиноподібну деформацію призми.

Забруднений відсів залізистих кварцитів діє як концентрований забруднювач, що заповнює пори між фракціями щебеню (процес

кольматації).

ДБН В.2.3-19:2025 [31] вимагає вільного відведення води з баластної призми. Забруднений відсів цементує пори, створюючи водонепроникні зони.

Динамічний вплив: під час проходження потяга виникає ефект «гідродинамічного удару». Вода, затиснута в забруднених порах, не встигає відводитися і під тиском шпали створює надлишковий поровий тиск. Це призводить до явища псевдозрідження баласту, коли несні здатності призми тимчасово падають майже до нуля, викликаючи різкі просадки колії.

Найбільш небезпечним наслідком недотримання ДБН В.2.3-19:2025 [31] у частині чистоти баласту є втрата стійкості безстикової колії.

Опір поперечному зсуву шпал (r_{cm}) при забрудненні щебеню падає на 30-45%. Влітку, при підвищенні температури рейок, поздовжні сили стиснення можуть перевищити критичне значення опору баласту.

Забруднена баластна призма не здатна втримати рейко-шпальну решітку від раптового поперечного викривлення (викиду колії), що є прямою загрозою катастрофічних наслідків.

Враховуючи, що відсів залізистих кварцитів має високу щільність та абразивність, у поєднанні з нафтопродуктами він створює агресивну пасту, яка прискорює знос підшви шпал та скріплень.

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-204:2009 «Будівельні матеріали. Щебінь із природного каменю для баластного шару залізничної колії. Технічні умови» [32] при рівні забрудненості баласту понад 15% (за масою), його дренажні та несучі властивості вважаються втраченими. Для забрудненого баласту цей поріг є ще нижчим через хімічну агресивність середовища.

Наявність забрудненого відсіву в баластній призмі є дефектом, що вимагає негайної реконструкції колії з повною заміною або глибоким очищенням щебеню. Ігнорування цього факту є порушенням не лише

екологічного законодавства [24], а й базових інженерних норм безпеки залізничної інфраструктури [31].

3.2 Організація спеціалізованих майданчиків для локалізації технологічних проливів та тимчасового зберігання нафтовмісних відходів

Системне виникнення технологічних проливів у місцях обслуговування техніки та накопичення забрудненого щебеню вимагає створення інженерних споруд, здатних забезпечити повну гідроізоляцію забруднювачів від природного середовища.

Контейнерний майданчик – спеціально обладнані майданчики для розміщення контейнерів для зберігання побутових відходів із зручними під'їздами для спеціально обладнаних транспортних засобів [33].

Територія контейнерного майданчика повинна примикати до проїздів, але не заважати руху транспорту. У разі відокремленого розміщення контейнерного майданчика (удалині від проїздів) треба передбачати можливість зручного проїзду спеціально обладнаних транспортних засобів та наявність майданчиків для розвороту (12×12м) [34].

Улаштування контейнерного майданчика вздовж наскрізного проїзду допускається, якщо ширина проїзду складає не менше ніж 3,5 м у разі одностороннього руху та не менше ніж 6 м у разі двостороннього руху.

Якщо контейнерний майданчик розміщується на відстані більше ніж 2 м від краю проїжджої частини, потрібне улаштування під'їзної кишені [34].

Запропонована план-схема контейнерного майданчика для залізничного цеху наведена на рис. 3.1 і відповідає рекомендаціям [34]. Будівництво контейнерних майданчиків здійснюють відповідно до вимог Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» [35].

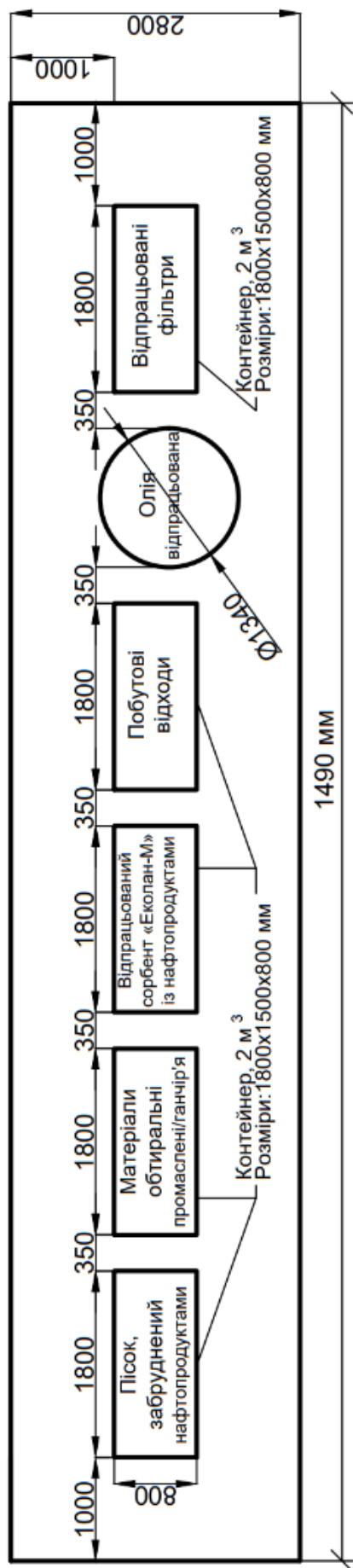


Рисунок 3.1 – Запропонована план-схема контейнерного майданчика для залізничного цеху (побудовано за допомогою AutoCAD, одиниці виміру подані в мм)

Розмір контейнерного майданчика потрібно визначати в залежності від розмірів контейнерів з розрахунку розміщення необхідної кількості контейнерів та з урахуванням вимог Правил надання послуг з вивезення побутових відходів та Методики роздільного збирання побутових відходів [36]. Сумарний об'єм контейнерів треба передбачати залежно від чисельності населення та з 25% запасом [35].

Між контейнером і краєм майданчика розмір проходу треба встановлювати не менше ніж 1,0 м, між контейнерами – не менше ніж 0,35 м [33]. Покриття майданчика треба проектувати аналогічно покриттю транспортних проїздів.

Похил покриття майданчика має складати від 5% до 10 % у бік проїжджої частини, щоб не допускати застій води та скочування контейнерів [33].

Сполучення майданчика з прилеглим проїздом треба здійснювати в одному рівні без укладання бордюрного каменю, з газоном – садовим бортом або декоративною стінкою висотою від 1 м до 1,2 м [33].

Обов'язковий перелік елементів благоустрою на контейнерному майданчику має включати: тверді види покриття, елементи сполучення майданчика з прилеглими територіями, контейнери для збирання побутових відходів, освітлювальне обладнання, озеленення [33].

Основним елементом захисту є монолітна бетонна основа. Згідно з ДСТУ EN 206-2022 [37], для об'єктів, що піддаються впливу агресивних хімічних речовин (нафтопродуктів) та працюють у відкритих умовах, встановлюються наступні вимоги:

- клас міцності повинен бути не нижче C20/25 (M350) для витримання статичних та динамічних навантажень від навантажувальної техніки;
- морозостійкість: рівень F200 відповідно до кліматичної зони України, що гарантує цілісність плити протягом щонайменше 200 циклів заморожування;
- водонепроникність: клас W6 (згідно з ДСТУ EN 12390-8:2022

Випробування затверділого бетону. Частина 8. Глибина проникнення води під тиском) [38]. Високий показник водонепроникності є критичним для запобігання дифузії низьков'язких фракцій мастила в структуру бетону.

Для додаткового захисту від адгезії мастила до бетону та спрощення процесу очищення в зимовий період, поверхня плити має бути оброблена гідрофобізуючими сумішами або епоксидним топінгом, що відповідає вимогам ДБН В.2.6-98:2009 «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення» (зі зміною № 1) щодо захисту будівельних конструкцій від корозії [39].

Проектування геометрії майданчика базується на вимогах ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди» [40].

По периметру майданчика облаштовуються монолітні залізобетонні борти висотою 0,5 м. Даний параметр розрахований на утримання об'єму можливого технологічного скиду з урахуванням акумуляції талих вод та інтенсивних опадів (коефіцієнт запасу 1.2 за ДБН В.2.5-75:2013) [40].

Для забезпечення самопливу рідкої фази та недопущення застою «мастильних калюж», плита виконується з нахилом 1,5–2% у напрямку збірного зумпфа за ДБН В.2.5-75:2013 [40].

Гідроізоляція стиків: З'єднання «підлога–борт» (холодний шов) є найбільш вразливим місцем. Відповідно до технологічних регламентів, у такі стики вкладається бензостійка гідрошпонка або набухаючий профіль, що виключає фільтрацію рідких відходів у ґрунт.

Оскільки технологічні проливи на майданчику змішуються зі снігом та дощовими водами, організація процесу повинна відповідати екологічним стандартам водоохоронних зон.

Попереднє очищення – згідно з рекомендаціями ДБН В.2.5-75:2013 [40], перед випуском у загальну мережу або ємність збору, стоки мають проходити через пісковловлювач для сепарації часток щебеню та механічних домішок.

Для запобігання залповим скидам забрудненої талої води під час

весняного потепління, система обладнується запірною арматурою (засувками), що дозволяє утримувати рідку фазу всередині майданчика до моменту її очищення мобільними установками або вивезення асенізаційною технікою.

Особливості експлуатації майданчиків та динаміка проливів у літній період наведені нижче.

Літній період характеризується високими температурами поверхні бетону (до +50...+60°C під прямим сонячним промінням) та інтенсивними зливовими опадами, що створює специфічні виклики для утримання технологічних проливів.

На відміну від зимового періоду, коли мастило стає в'язким, влітку спостерігається зворотний процес.

Мастило стає надзвичайно текучим, що дозволяє йому проникати навіть у мікротріщини бетонної основи. Це підтверджує необхідність використання герметиків, стійких до температурних розширень згідно з ДСТУ EN 934-2:2019 [41].

Випаровування легких фракцій: При високих температурах частина вуглеводнів випаровується, залишаючи на бетоні густий бітумоподібний осад, який міцно зчіплюється з поверхнею (висока адгезія). Це потребує застосування дегрізерів (хімічних змивок) під час планового очищення майданчика.

Ризик «виносного» забруднення дощовими водами наведено нижче.

Згідно з ДБН В.2.5-75:2013 [40], у літній період критичним параметром є розрахунок на зливовий стік.

Під час раптових літніх злив вода, що потрапляє на замаслений бетон, миттєво підіймає мастило на поверхню (через різницю щільності). Утворюється тонка, але велика за площею нафтова плівка.

Для запобігання виходу цієї плівки за межі майданчика, система водовідведення повинна бути обладнана сифонними випусками (гідрозатворами), які утримують верхній шар мастила, пропускаючи лише

чисту воду з нижніх шарів у збірний резервуар.

Постійне чергування нагріву вдень та охолодження вночі призводить до деформації бетонної плити.

Відповідно до ДБН В.2.6-98:2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції» [39], майданчик повинен мати температурні шви, заповнені бензостійким еластичним полімером. Без них у літній період плита може тріснути, що призведе до прихованого витoku мастила безпосередньо в ґрунт під майданчик.

Приклад розміщення ємності для збору і тимчасового розміщення відходів на екіпірувальному пункті залізничної станції представлено на рис. 3.2.

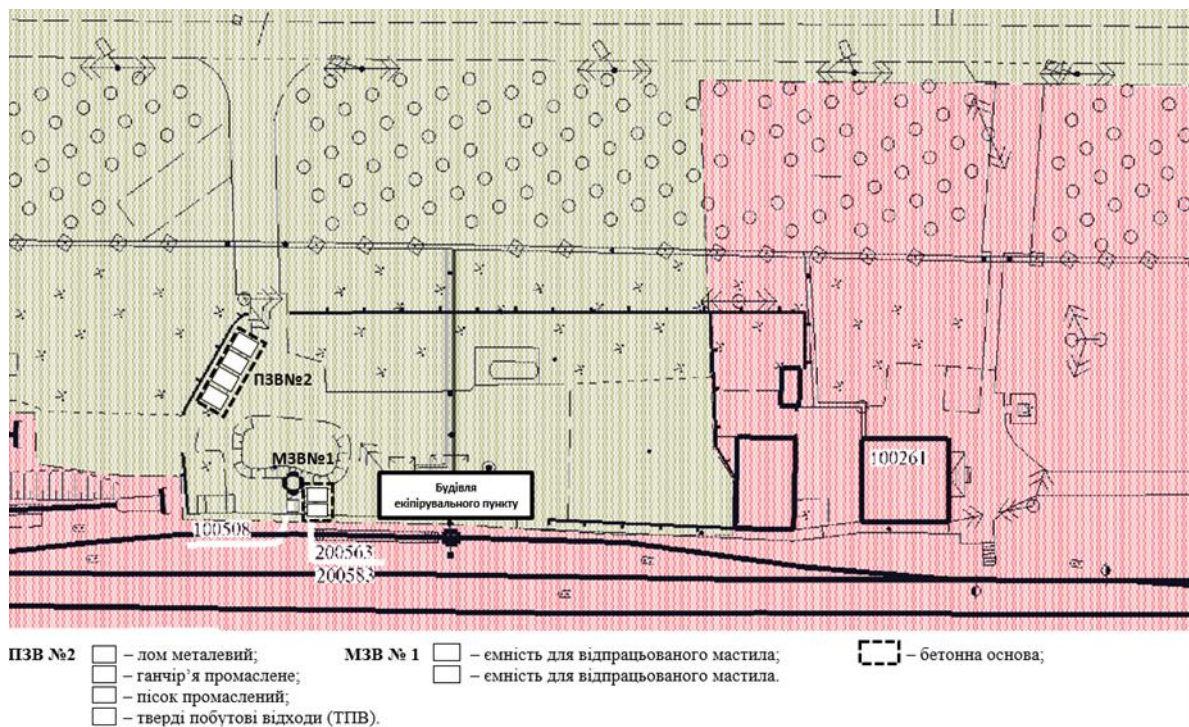


Рисунок 3.2 – Приклад розміщення ємності для збору і тимчасового розміщення відходів на екіпірувальному пункті залізничної станції

3.3 Розміщення ємності для збору і тимчасового зберігання відходів залізничного цеху

Настанови щодо збору ємностей і тимчасового зберігання відходів наведені нижче, спираючись на основні вимоги ДСТУ 4462.3.02:2006 [42].

Пофарбовані ємності у кольори, які чітко ідентифікують тип відходів, що зберігаються. Фарбування має бути зносостійким, хімічно стійким та забезпечувати захист тари від корозії.

Колірне маркування допомагає уникнути помилок у сортуванні та запобігає змішуванню небезпечних і безпечних відходів згідно [36]:

Червоний – для небезпечних відходів, зокрема відпрацьованих нафтопродуктів, промасленого ганчір'я.

Зелений або синій – для безпечних (небезпечних) побутових та промислових відходів.

Жовтий – іноді застосовується для медичних відходів чи спеціальних категорій.

На кожному контейнері, дверях приміщення для зберігання відходів повинні бути написи: 1) найменування відходів; 2) прізвище, ім'я, по батькові відповідальної особи; 3) вантажопідйомність (для контейнерів).

3.4 Автоматизовані комплекси механічної регенерації баласту

Механічний метод на сьогодні залишається найбільш радикальним і ефективним способом відновлення експлуатаційних характеристик залізничної колії при глибокому нафтовому забрудненні. Ця технологія отримала широке розповсюдження на магістральних залізницях країн ЄС завдяки можливості повного відновлення дренуючих властивостей баластної призми. Основним інструментарієм для реалізації цього методу виступають важкі баластоочисні машини (БОМ) високої продуктивності, зокрема такі моделі, як Plasser & Theurer RM-80 та Matisa C 75 [43], що інтегровані в єдині технологічні ланцюжки.

Алгоритм роботи комплексу базується на безперервному циклі виїмки та очищення. Робочий орган машини (барова ланцюгова пила)

здійснює повне вилучення забрудненої щебеневої маси з-під рейко-шпальної решітки. Глибина виїмки варіюється в межах 0,3–0,7 м, залежно від ступеня міграції нафтопродуктів у нижні шари призми. Після виїмки матеріал транспортується конвеєрною системою до багатоярусних вібраційних сепараторів (гурхотів). Там відбувається фракційне відокремлення чистого щебеню від нафто-пилового шламу та зруйнованих частинок каменю.

Сучасні модифікації комплексів RM-80 та аналогів реалізують концепцію замкненого циклу регенерації. У систему сепарації інтегровані форсунки для промивання щебеню під високим тиском із використанням спеціалізованих водних розчинів поверхнево-активних речовин (ПАР).

Застосування хімічних реагентів дозволяє ефективно десорбувати нафтову плівку з поверхні гранітного щебеню. Це дає змогу повертати в колію до 85% очищеного матеріалу, що суттєво зменшує потребу у використанні нових інертних ресурсів.

Нафтові забруднення акумулюються у вигляді концентрованого шламу, який автоматично завантажується у супровідні спецвагони (типу MFS) для подальшого вивезення та утилізації.

Незважаючи на високу технологічність, застосування важких БОМ в умовах залізничних мереж гірничо-збагачувальних комбінатів стикається з низкою критичних обмежень:

Робота комплексу потребує тривалого припинення руху потягів (від 6 до 10 годин), що є майже неможливим на магістральних дільницях ГЗК із безперервним циклом відвантаження руди.

В умовах обмеженого простору кар'єрних колій та станцій згущення пульпи габарити машин RM-80 не завжди дозволяють виконувати маневрування.

Висока вартість машино-зміни та необхідність термічної деструкції великих обсягів відсіву (забрудненого нафтошламу) робить метод фінансово обтяжливим для локальних проливів.

Таким чином, механічна регенерація є доцільною лише при капітальному ремонті колії або масштабних аварійних розливах, тоді як для поточної експлуатації необхідно розглядати більш гнучкі інженерні рішення.

3.5 Сорбційно-бар'єрні методи захисту геологічного середовища

У сучасній практиці експлуатації промислового залізничного транспорту (зокрема в США, Канаді та країнах Скандинавії) домінують методи превентивного захисту та пасивної сорбції. Основна увага приділяється локалізації забруднень безпосередньо у місцях їх виникнення – в зонах екіпірування локомотивів, на шляхах відстою тягового рухомого складу та на дільницях із інтенсивним маневровим рухом [44].

Одним із найбільш ефективних інженерних рішень є впровадження спеціалізованих композитних систем захисту колії (типу Railroad Track Mats) [45]. На відміну від стандартних геотекстилів, ці системи мають багат шарову структуру.

Верхній шар виконується з високоміцного гідрофобного поліпропіленового волокна. Його функція – вільне пропускання атмосферних опадів (води) при одночасному затриманні молекул вуглеводнів.

Внутрішній сорбційний шар складається з пористих полімерних матеріалів, що здатні утримувати в собі значні об'єми нафтопродуктів (від 15 до 20 л на 1 м² поверхні).

Нижній бар'єр – непроникна полімерна мембрана, що повністю виключає вертикальну міграцію паливно-мастильних матеріалів у нижні горизонти баластної призми та земляне полотно.

Застосування таких матів дозволяє перетворити баластну призму на

керовану систему захисту, де забруднення залишається локалізованим у верхньому шарі до моменту планової заміни фільтруючого елемента.

Поряд із бар'єрними методами, світовий досвід вказує на високу ефективність використання модифікованих мінеральних та органічних сорбентів. На відміну від природної глини чи піску, ці матеріали проходять процес гідрофобізації, що робить їх стійкими до намокання водою, але надзвичайно активними щодо нафти.

Завдяки активованій структурі пор мінеральні сорбенти (цеоліти, бентоніти) забезпечують іонний обмін та міцне утримання важких фракцій нафтопродуктів.

У країнах із суворим кліматом активно використовують модифікований торф. Його перевага полягає в плавучості та здатності працювати при низьких температурах, що є актуальним для зимового періоду експлуатації колій ГЗК. Терморозширений графіт, у свою чергу, демонструє найвищу швидкість поглинання – процес сорбції розливу відбувається за лічені хвилини, що мінімізує площу розтікання плями.

Для умов накопичувальних та витяжних колій промислових станцій на підприємствах гірничо-металургійного комплексу використання сорбційно-бар'єрних методів є найбільш раціональним з економічної точки зору. Це дозволяє відмовитися від дорогої механічної очистки щебеню на користь превентивного захисту критичних точок розливу, що значно знижує екологічні ризики без зупинки основного технологічного процесу підприємства.

3.6 Технології біоремедіації *in-situ* та мікробної деструкції

Технологія *in-situ* (на місці) дозволяє вирішувати проблему забруднення без вилучення баласту, що є критично важливим для промислових підприємств із безперервним циклом роботи [46].

В основі методу лежить інтенсифікація життєдіяльності автохтонної

(місцевої) мікрофлори або штучне внесення спеціалізованих штамів-деструкторів, таких як *Rhodococcus erythropolis* та *Pseudomonas putida*. Ці мікроорганізми використовують складні вуглеводні нафти як єдине джерело вуглецю та енергії:

- процес метаболізму: під дією ферментних систем бактерій відбувається розщеплення довгих молекулярних ланцюгів нафтопродуктів;

- кінцевий результат: повна трансформація токсичних сполук у екологічно інертні продукти метаболізму – вуглекислий газ (CO₂) та воду (H₂O), що знімає питання подальшої утилізації відходів.

У британській інженерній практиці для реалізації цього методу застосовується технологія дрібнодисперсного зрошення баластної призми рідкими біопрепаратами. Для цього використовуються спеціалізовані вагони-лабораторії або мобільні обприскувальні установки на залізничному ході. Це дозволяє здійснювати системну обробку колій без порушення цілісності колійної решітки та, що найважливіше, без зупинки руху потягів. Препарати мають високу проникну здатність, що забезпечує очищення щебеню на всю глибину залягання (до 0,5–0,7 м).

Аналіз світового досвіду та техніко-економічних показників свідчить, що для умов залізничної мережі ГЗК (табл. 3.1), яка характеризується надвисокою щільністю руху вантажних складів та хронічним нашаруванням нафто-пилових забруднень, найбільш раціональним є комбінований підхід.

Таблиця 3.1 — Технології для умов промислових майданчиків

Критерій порівняння	Механічне очищення	Сорбційне очищення	Біоремедіація (in-situ)
Ефективність вилучення	Висока (миттєве видалення маси)	Середня (локалізація плями)	Висока (повна деструкція сполук)
Потреба у «вікнах» руху	Критична (6–12 годин)	Не потребує	Не потребує
Вплив на	Повне відновлення	Не впливає	Не впливає

Критерій порівняння	Механічне очищення	Сорбційне очищення	Біоремедіація (in-situ)
структуру колії	дренажу		
Утилізація відходів	Потребує (нафтошлам, відсів)	Потребує (відпрацьований сорбент)	Не потребує (біорозклад)
Вартість реалізації	Надвисока (техніка + утилізація)	Середня (закупівля матеріалів)	Низька / Середня

Комбінований підхід передбачає початкове механічне видалення великих конгломератів (шламу) з подальшою регулярною біологічною доочисткою баласту. Такий алгоритм дозволяє забезпечити стабільний екологічний ефект і дотримання нормативів ГДК без порушення технологічного циклу підприємства.

3.7 Аналіз сорбційних матеріалів та біопрепаратів на вітчизняному ринку для ліквідації нафтових забруднень

Вибір ефективної технології ліквідації проливів нафтопродуктів (мастил, дизельного палива) на залізничних коліях гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) суттєво відрізняється від методів очищення водних поверхонь чи ґрунту. Специфіка залізничного баласту, що складається зі щебеню фракції 25-60 мм, зумовлює швидке вертикальне мігрування забруднювача вглиб призми, що робить механічний збір сорбенту майже неможливим без виїмки самого щебеню.

Згідно з актуальними даними моніторингу вітчизняного ринку засобів екологічного захисту, станом на 2026 рік для умов промислових підприємств Криворіжжя найбільш доцільним є аналіз трьох груп матеріалів, які наведені нижче.

1 Природні мінеральні та органічні сорбенти. На ринку України широко представлені сорбенти на основі спученого перліту та вермикуліту, а також модифікованого торфу (лінійка «Еколан») [25-27].

Мінеральні сорбенти мають низьку вартість, проте їх використання

на залізничних коліях ГЗК є обмеженим через високу абразивність та пилоутворення, що негативно впливає на вузли рухомого складу.

Відповідно до ДСТУ ISO 14024 [47], ці матеріали є екологічно безпечними, проте після насичення нафтопродуктами вони переходять у категорію небезпечних відходів, що потребують негайної виїмки та термічної утилізації, що технічно важко реалізувати в міжрейковому просторі.

2 Синтетичні полімерні сорбенти та сорбційні вироби. До цієї категорії відносяться вироби з поліпропілену та пінополіуретану (марки «Сорб-ойл», «SpillSorb») [48].

Для умов цеху експлуатації залізничного транспорту (ЦЕЗТ) найбільш перспективними є не розсипні матеріали, а сорбційні мати та бони. Вони дозволяють локалізувати витіки безпосередньо в місцях стоянки локомотивів або під час заправки.

Синтетичні матеріали придатні до багаторазового використання шляхом механічного віджиму нафтопродукту. Утилізація відпрацьованих матів на ГЗК має здійснюватися через спеціалізовані підприємства з деструкції полімерних відходів, що є обов'язковою умовою екологічного менеджменту підприємства.

3 Біоактивні препарати (біосорбенти) (табл. 3.2). Найбільш адаптованим рішенням для ліквідації забруднень на щебеневому баласті є застосування біопрепаратів (наприклад, «Еколан»). Ці засоби поєднують у собі сорбційні властивості органічного носія та деструктивну силу іммобілізованих бактерій (*Rhodococcus erythropolis*).

Таблиця 3.2 – Характеристика сорбуючого матеріалу, доступних на ринку України

Показник	Мінеральні (перліт)	Синтетичні (мати)	Біосорбенти (Еколан)
Нафтоємність, г/г	4–6	15–20	8–10
Гідрофобність	Низька	Повна	Висока

Показник	Мінеральні (перліт)	Синтетичні (мати)	Біосорбенти (Еколан)
Механіка очищення	Сорбція	Сорбція	Біодеградація
Вплив на баласт	Засмічує	Нейтральний	Очищує вглиб
Рекомендація для ГЗК	Не рекомендовано	Для локальних зон	Рекомендовано

Перевага методу «In-situ» [46]: в умовах залізничних колій біопрепарат проникає у глибину щебеневої призми разом із забруднювачем. Бактерії-деструктори розщеплюють вуглеводні нафти до нешкідливих води та вуглекислого газу безпосередньо в баласті.

Застосування аналогічних біоактивних систем на об'єктах гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя продемонструвало високу експлуатаційну ефективність, що дозволяє локалізувати та практично повністю ліквідувати нафтові забруднення протягом теплого сезону. Завдяки високій проникній здатності препарату, очищення відбувається по всій глибині баластної призми, що виключає накопичення деградованих нафтопродуктів у нижніх шарах. Це дозволяє підтримувати екологічну безпеку залізничних ділянок без проведення капітальних робіт із виїмки щебеню чи демонтажу колійної решітки.

Аналіз ринку показав, що для ліквідації нафтових забруднень на залізничних коліях ГЗК недоцільно використовувати порошкові мінеральні сорбенти через складність їх вилучення. Найбільш раціональним є впровадження комбінованої схеми: постійне використання полімерних сорбційних матів у зонах ризику та обробка існуючих забруднень щебеню біопрепаратами вітчизняного виробництва. Це дозволить забезпечити дотримання норм екологічної безпеки без зупинки експлуатації колій.

Для оперативної оцінки стану виробничих процесів та мінімізації екологічних ризиків під час поводження з відходами залізничного транспорту обґрунтовано доцільність застосування індикативного «методу світлофора». Інтеграція цього інструменту візуалізації в сучасні інформаційні системи управління підприємством (ERP/CRM) дозволяє

формалізувати результати внутрішнього екологічного аудиту, забезпечуючи швидке виявлення критичних відхилень та підвищуючи обґрунтованість рішень щодо ліквідації наслідків забруднення [1] (дод. А).

Висновки за розділом 3

Обґрунтовано організаційні рішення та розроблено оптимальну схему влаштування спеціалізованого майданчика для складування відходів, що утворюються в процесі діяльності залізничного цеху. Схематичний нарис влаштування контейнерного майданчика для залізничного цеху побудовано за допомогою AutoCAD.

На підставі аналізу різних інженерно-технічних рішень, в т.ч. механічну регенерацію щебеню, впровадження спеціалізованих композитних систем захисту колії (типу Railroad Track Mats), використання модифікованих мінеральних та органічних сорбентів, обґрунтовано доцільність застосування нафтопоглинальних сорбентів з іммобілізованими композиціями активних штамів нафтоокисних бактерій, що забезпечують глибоку мікробну деструкцію вуглеводнів безпосередньо у структурі колійного шару.

4 ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ТА ОРГАНІЗАЦІЙНІ ЗАХОДИ З МІНІМІЗАЦІЇ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

4.1 Аналіз світового досвіду та інженерних рішень щодо очищення залізничного баласту від нафтових забруднень

У світовій інженерній практиці вибір стратегії ліквідації нафтового забруднення колійного господарства визначається сукупністю техніко-економічних чинників: інтенсивністю експлуатації колії, глибиною міграції нафтопродуктів та нормативними вимогами до залишкового вмісту вуглеводнів у ґрунті. На основі аналізу досвіду провідних залізничних операторів (Deutsche Bahn, SNCF, BNSF) сучасні технологічні рішення можна класифікувати за трьома основними напрямками [43-45].

1. Механізоване очищення із застосуванням мобільних комплексів (Метод Ex-situ). Цей підхід є базовим для американського оператора BNSF при масштабних розливах. Він передбачає повну або часткову виїмку забрудненого баласту за допомогою щебенеочисних машин (типу Plasser & Theurer) [43].

Технологічна суть: вилучений щебінь подається у мобільні промивочні установки, де під тиском із використанням біорозкладних ПАВ (поверхнево-активних речовин) відбувається відділення нафтової фракції. Можливе повернення до 80–85% очищеного щебеню назад у призму, що суттєво знижує витрати на закупівлю нових інертних матеріалів.

2. Технології мікробіологічної ремедіації (Метод In-situ) [46]. Європейські оператори, зокрема Deutsche Bahn (DB), все частіше віддають перевагу методам, що не потребують розбирання колійної решітки. Це критично важливо для ділянок із високою інтенсивністю руху, де неможливо встановити тривалі «вікна».

У баластну призму вводяться спеціалізовані бактеріальні штами-

деструктори (наприклад, на основі родів *Rhodococcus* або *Pseudomonas*). Бактерії використовують вуглеводні нафти як джерело енергії, розкладаючи їх до води та вуглекислого газу.

Ефективність методу залежить від аерації баласту та температурного режиму (оптимально від +15°C). На залізницях Німеччини цей метод комбінують із внесенням мінеральних добрив для стимуляції росту аборигенної мікрофлори.

4.2 Визначення загальних витрат пов'язаних з ліквідацією нафтопроливів за допомогою мінеральних сорбентів

Економічна доцільність впровадження пропонованої технології очищення залізничного баласту ГЗК базується на порівняльному аналізі двох стратегій: традиційної заміни (вилучення та захоронення) та інженерного очищення на місці (in-situ).

Для розрахунку прийнято умовну ділянку залізничних колій ГЗК забруднення масою 100 тонн (приблизно 60–70 м колії).

Тип відходу: щебінь, забруднений нафтопродуктами (3-й клас небезпеки відповідно до Закону України «Про відходи», небезпечні відходи – за Законом України «Про управління відходами»).

Щебінь та пісок є власною продукцією підприємства, проте їх використання для заміни розглядається як втрата товарного ресурсу.

Виконуємо розрахунок витрат за традиційним методом (заміна баласту), який передбачає повне вилучення забрудненого шару з подальшим поводженням як з небезпечним відходом.

Розрахунок економічної ефективності заходу виконано на основі усереднених ринкових показників вартості експлуатації техніки в Криворізькому залізничному басейні станом на початок 2026 року. Зокрема, вартість однієї машино-години роботи комплексу для виїмки та транспортування баласту прийнята на рівні 5 000 грн, що відповідає

кошторисним нормам для гірничо-збагачувальних підприємств при роботі в умовах кар'єру/промислового майданчика, на основі об'єму у 100 тонн витрати складають 500 000 грн.

Таблиця 4.1 – Ринкові ціни на експлуатацію аналогічної техніки

Тип техніки	Орієнтовна вартість машино-години	Джерело/Обґрунтування
Екскаватор (місткість ковша 1.0–1.5 м ³)	1 650 – 2 300 грн	Аналіз ринку оренди спецтехніки (напр. <i>Lantau, Spectrans</i>)
Самоскид (вантажопідйомність 25–40 т)	1 100 – 1 800 грн	Ставки логістичних компаній (напр. <i>Метінвест-Шіппінг</i> внутрішні розцінки)
Щебенеочисна машина (типу СЧ/РМ)	3 500 – 6 000 грн	Галузеві нормативи Укрзалізниці (враховує складність та енергоємність)

Логістичні витрати (C_{log}): використання спецтехніки для вилучення та транспортування до місця спеціалізованого розміщення.

$$C_{log} = 100 \text{ т} \cdot 5 \text{ 000 грн/т} = 500 \text{ 000 грн.} \quad (4.1)$$

Екологічний податок за розміщення окремих видів помірно небезпечних відходів (Π_{PB}): Згідно з Податковим кодексом України (станом на 2026 рік), ставка для 3-го класу небезпеки з урахуванням коефіцієнта місця розміщення ($K_o=1$) (табл. 4.2) [49].

Таблиця 4.2 – Коефіцієнт до ставок податку, який встановлюється залежно від місця (зони) розміщення відходів у навколишньому природному середовищі [49]

Місце (зона) розміщення відходів	Коефіцієнт
В межах населеного пункту або на відстані менш як 3 км від таких меж	3
На відстані від 3 км і більше від меж населеного пункту	1

Таблиця 4.3 – Ставки податку за розміщення відходів, які встановлюються залежно від класу небезпеки та рівня небезпечності відходів [49]

Клас небезпеки відходів	Рівень небезпечності відходів	Ставка податку, гривень за 1 тонну
I	надзвичайно небезпечні	1546,22
II	високонебезпечні	56,32
III	помірно небезпечні	14,12
IV	малонебезпечні	5,50
	малонебезпечні нетоксичні відходи гірничої промисловості	0,54.

Суми податку, який справляється за розміщення відходів (Π_{PB}) [49]:

$$\Pi_{PB} = \sum_{i=1}^n H_{\Pi i} \times M_{Li} \times K_T \times K_0, = 14,12 \cdot 100 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1412 \text{ грн} \quad (4.2)$$

де $H_{\Pi i}$ — ставки податку в поточному році за тонну i -того виду відходів у гривнях з копійками;

M_{Li} — обсяг відходів i -того виду в тоннах (т);

K_T — коригуючий коефіцієнт, який враховує розташування місця розміщення відходів (табл. 4.1);

K_0 — коригуючий коефіцієнт, що дорівнює 1 і застосовується у разі розміщення відходів на звалищах, які не забезпечують повного виключення забруднення атмосферного повітря або водних об'єктів. В іншому випадку коефіцієнт дорівнює 1.

Враховано на основі офіційного прайс-листа ліцензованого підприємства [50]. Середня вартість приймання нафтовмісних відходів у 2026 році складає 335,4 грн. Приймання відходу спеціалізованим підрозділом або сторонньою організацією. Витрати на утилізацію (C_{util}):

$$C_{util} = 100 \text{ т} \cdot 335,4 \text{ грн/т} = 33\,540 \text{ грн.} \quad (4.3)$$

На основі практики, внутрішня вартість 1 тонни щебеню фракції 25-60 мм становить 350 грн. Оскільки щебінь видобувається у власному кар'єрі, враховується його собівартість (вилучення з обороту). Втрата товарної вартості ресурсу (C_{res}):

$$C_{res} = 100 \text{ т} \cdot 350 \text{ грн/т} = 35\,000 \text{ грн.} \quad (4.4)$$

Разом витрати за традиційним методом:

$$S_{trad} = C_{log} + \Pi_{PB} + C_{util} + C_{res} = \quad (4.5)$$

$$500\,000 + 1412 + 33\,540 + 35\,000 = 569\,952 \text{ грн}$$

Розглянемо створення превентивних захисних бар'єрів.

Досвід французької компанії SNCF Réseau зосереджений на запобіганні вертикальній міграції нафтопродуктів у земляне полотно та ґрунтові води.

Під час реконструкції колії під баластний шар вкладаються багатофункціональні геосинтетичні матеріали. Використовуються спеціальні нафтостійкі геомембрани або бентонітові мати, які мають здатність самолікуватися (набухати) при контакті з рідиною.

У разі витoku нафтопродукт не просочується вглиб, а акумулюється у верхньому шарі баласту, що дозволяє локалізувати забруднення та оперативно зібрати його сорбентами (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Методи очищення залізничного баласту

Метод очищення	Глибина очищення	Тривалість робіт	Вплив на графік руху
Механічний (миття)	Висока	Коротка	Потребує тривалих «вікон»
Біоремедіація	Середня/Висока	Тривала (місяці)	Не впливає
Сорбційний	Середня	Середня	Мінімальний вплив

Проаналізувавши світовий досвід, слід зазначити, що для умов промислових підприємств України (зокрема для гірничо-збагачувальних комбінатів) найбільш раціональним є поєднання механічного збору розлитої нафти за допомогою сучасних сорбентів із подальшою біологічною доочисткою баластної призми. Це дозволяє досягти нормативних показників екологічної безпеки без капітальної перебудови колійного господарства.

4.3 Розрахунок розміру шкоди від забруднення земель

Для підтвердження еколого-економічної ефективності запропонованих заходів, мною виконано порівняльний розрахунок потенційних збитків, які б були заподіяні державі у разі бездіяльності (сценарій 1), порівняно з варіантом оперативної локалізації проливу за допомогою піску (сценарій 2). Згідно з «Методикою визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства» [14], розмір шкоди від забруднення земель ($P_{ш}$) розраховується за формулою:

$$P_{ш} = A \cdot \Gamma_{оз} \cdot P_{\partial} \cdot K_з \cdot K_н \cdot K_{ег}, \quad (4.6)$$

де P_{∂} — площа забрудненої ділянки (45,514 м²);

$\Gamma_{оз}$ — нормативна грошова оцінка земельної ділянки, що зазнала забруднення (засмічення), грн/кв.м (умовне значення для земель промисловості, транспорту, зв'язку та іншого призначення Криворізького регіону прийнято як в прикладі наведеному [14]);

$K_н$ — коефіцієнт небезпечності нафтопродуктів ($K_н = 4,0$ згідно з Додатком 1 [14]);

$K_{ег}$ — коефіцієнт еколого-господарського значення земель

визначається (1,0 згідно з Додатком 2 [14]);

A — питомі витрати на ліквідацію наслідків забруднення земельної ділянки, значення якого дорівнює (0,5 згідно з п. 4.6 [14]);

K_з — коефіцієнт забруднення земельної ділянки, що характеризує кількість забруднюючої речовини в об'ємі забрудненої землі залежно від глибини просочування;

У випадку, якщо заходи з ліквідації розливу нафтопродуктів не були вжиті вчасно, відбувається їх інфільтрація у глибинні шари залізничного земляного полотна. При просочуванні нафти на глибину баластової призми понад 20 см.

В розрахунках умовно прийнято що глибина просочування сягає до 0,2 см оскільки оперативне реагування та технічне обслуговування унеможлиблює потрапляння нафтопродуктів на ґрунтовий покрив. Тому прийнято визначення коефіцієнту *K_з* оскільки за даними сталої практики значення щодо впливу забруднюючих речовин прийняті як мінімальні.

Коефіцієнт забруднення (*K_з*) розраховується за формулою:

$$K_z = K_p \cdot K_{гп}, \quad (4.7)$$

де *K_p* — коефіцієнт рівня забруднення, значення якого визначається за додатком 11 [14], при середньому забрудненні *K_p* = 2,0;

K_{гп} — поправний коефіцієнт на глибину просочування забруднюючої речовини, значення якого визначається згідно з додатком 12 [14] коефіцієнт *K_{гп}* при глибині просочування понад 20 см становить 1,0.

$$K_z = 2,0 \cdot 1,0 = 2,0.$$

Розрахунок розміру шкоди від забруднення земель ($P_{ш}$) за формулою (4.6) зведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати розрахунку розміру шкоди від забруднення нафтопродуктами земель промисловості, транспорту, зв'язку та іншого призначення ($P_{ш}$)

№ з/п	Показники	Позначення показника	Джерела одержання або розрахунок показника	Значення показника (коефіцієнта)
1	2	3	4	5
1	Площа забрудненої ділянки, кв. м	Пд	За актом про забруднення земель та за матеріалами спеціальних вишукувань	45,514
2	Глибина просочування забруднюючої речовини, м	Гп	Прийнято умовно	0,2
3	Забруднююча речовина	-		Нафтопродукти
4	Маса забруднюючої речовини, т	Взр		-
5	в тому числі	залишилось на поверхні	-	-
6		проникло в землю	-	-
7	Відносна густина забруднюючої речовини, т/куб. м	Щзр	Додаток 4 [14] (умовно прийнято як дизельне паливо)	0,83
8	Об'єм забруднюючої речовини, куб. м	Озр	За даними QGIS (див.рис.2.5)	3,823
9	в тому числі	залишилось на поверхні	-	3,823
10		проникло в землю	-	-
11	Вміст (масова частка) забруднюючої речовини за результатами інструментально-лабораторного контролю, мг/кг	Сзр	За протоколом вимірювань	-
12	Гранично допустима (орієнтовно допустима) концентрація речовини, мг/кг	Сгдк(одк)		-
13	Контрольний вміст речовини, мг/кг	Ск	За протоколом вимірювань або даними моніторингу або даними агрохімічної паспортизації земель	-
14	Коефіцієнт рівня забруднення	Кр	Додаток 11 [14]	2,0
15	Поправний коефіцієнт на глибину просочування забруднюючої речовини	Кгп	Додаток 12 [14]	1,0
16	Розмірна одиниця для розрахунку коефіцієнта забрудненості землі, м	Тзш	Постійна величина	0,2
17	Індекс поправки до витрат	Іп	Додаток 3 [14]	-
18	Питомі витрати на ліквідацію наслідків забруднення	А	Постійна величина	0,5

№ з/п	Показники	Позначення показника	Джерела одержання або розрахунок показника	Значення показника (коефіцієнта)
1	2	3	4	5
19	Нормативна грошова оцінка земельної ділянки (проіндексована), грн/кв. м	Гоз	За витягом з технічної документації з нормативної грошової оцінки земельної ділянки	1,83
20	Коефіцієнт забруднення земельної ділянки	Кз	Формула (4.7)	2,0
21	Коефіцієнт небезпечності забруднюючої речовини	Кн	Додаток 1 [14]	4
22	Коефіцієнт еколого-господарського значення земель	Кег	Додаток 2 [14]	1
23	Розмір шкоди, грн	Рш	Формула (4.6)	333,16

Альтернативний сценарій передбачає негайне реагування на надзвичайну ситуацію за допомогою первинних засобів ліквідації. Розрахунки показують, що оперативне застосування 110,3 кг піску як сорбуючого матеріалу дозволяє ефективно зв'язати нафтопродукт на поверхні. Це забезпечує надійну локалізацію речовини до моменту її можливого потрапляння у ґрунтове середовище та запобігає забрудненню конструктивних елементів залізничної колії (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Характеристика піску як сорбенту нафтопродуктів на ГЗК

Показник ефективності	Характеристика та параметри сорбенту	Джерело інформації (обґрунтування)
Механізм утримання забруднювача	Фільтраційне затримання в міжгранулярних порах та поверхнева сорбція	Технологічна інструкція з ліквідації аварійних розливів ГЗК [4]; технічна література
Глибина просочування (Г _п)	0-2 см (повна локалізація в межах нанесеного піщаного шару)	Результати виробничого моніторингу та внутрішні акти ГЗК [4]
Коефіцієнт глибини просочування (К _{гп})	1,0 (мінімальний; інфільтрація у ґрунт відсутня)	Додаток 12 до Методики [14]
Екологічний статус відпрацьованого матеріалу	Відхід, що підлягає збиранню, затарюванню та видаленню	Національний перелік відходів (код відходу 17 05 03*)

Використаний пісок як сорбент вже просочений нафтопродуктами і класифікується як 17 05 03* – ґрунт та каміння, що містять небезпечні

речовини відповідно до Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2023 р. № 1102 [23].

Оперативне застосування піску дозволяє:

- знизити коефіцієнт K_z з 5,1 до 0, оскільки факт забруднення земель (просочування у ґрунт) не настає;
- виконати вимогу ст. 40, 54, 55 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» щодо негайної локалізації осередку забруднення;
- заощадити кошти підприємства за нарахування розміру шкоди від забруднення земель (333,16 грн), обмежуючись лише витратами на подальшу утилізацію забрудненого сорбенту як відходу.

Для умов залізничного цеху ГЗК використання піску масою 110,3 кг на ділянці проливу площею 45,514 м² є надійним методом запобігання екологічним збиткам. Попри більшу витрату матеріалу порівняно з деякими іншими інертними сорбентами, пісок забезпечує створення ефективного захисного бар'єру, що повністю виключає проникнення нафтопродуктів у глибокі горизонти ґрунту.

Слід відзначити, що 10 червня 2026 року відбувся Міжнародний екологічний форум «Довкілля для України», який був організований Міністерством економіки, довкілля та сільського господарства України. На заході виступив представник Державної екологічної інспекції та підняв питання щодо необхідності перегляду методик відшкодування збитків та нанесеної шкоди довкіллю в наслідок порушення природоохоронного законодавства. Тому в подальшому слід очікувати здорожчення розмірів відповідних відшкодувань.

Висновки за розділом 4

Визначено, що загальні витрати при використанні мінерального

сорбенту та заміні баласту складуть 569 952 грн, враховуючи експлуатаційні витрати на технічне обслуговування комплексу машин та механізмів, логістичні витрати, екологічний податок за розміщення окремих видів помірно небезпечних відходів.

Оперативна ліквідація нафтопроливів в умовах залізничного цеху гірничо-збагачувального комбінату дозволяє попередити розтікання забруднюючих речовин і, як наслідок, виключає потребу у економічних відшкодуваннях за забруднення ґрунтового покриву.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У кваліфікаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і обґрунтування та вирішено науково-практичне завдання щодо організації та технології робіт з ліквідації проливів нафтопродуктів на залізничних коліях в умовах гірничо-збагачувального комбінату. За результатами проведених досліджень сформульовано наступні основні висновки.

1. На основі комплексного аналізу діяльності залізничного цеху ГЗК класифіковано проливи нафтопродуктів за ступенем їх проникнення в баластну призму. Встановлено, що кріогенні фактори та сезонна міграція вуглеводнів у структурі щебеню під впливом термодинамічних умов промислового майданчика суттєво змінюють адгезійну здатність мастильних матеріалів, що обґрунтовує доцільність диференціації ліквідаційних робіт: використання мінеральних сорбентів впродовж цілого року, біодеструкторів таких як «Еколан-М» у теплу пору року, а в холодну пору року з врахуванням зменшення активності комплексів штамів нафтоокисних бактерій.

2. Завдяки інструментарію геоінформаційної системи QGIS оптимізовано процес екологічної оцінки забруднення ділянок залізничного цеху. За допомогою інтегрованого калькулятора QGIS для умовної моделі забруднення площею 45,5 м² розраховано об'єм потенційної міграції нафтопродуктів, який становить 3,8 м³. Визначено потребу в матеріалах для оперативної локалізації: 110,3 кг піску або 3,26 кг сорбенту «Еколан-М».

3. На підставі аналізу та систематизації основних видів відходів, які утворюються під час ліквідації нафтопроливів на залізничних коліях виявлено, що відпрацьовані сорбенти класифікуються в теплу пору року як відходи, що не є небезпечними (15 02 03), а в холодну пору року – як небезпечні відходи (15 02 02* згідно з Порядком класифікації відходів та

Національним переліком відходів).

4. Розглянуто особливості організації і покрокової технології очисних робіт: локалізація шляхом обвалування, рівномірне покриття, механічний збір та деструкція плівки.

5. Запропоновано організаційно-технічні рішення щодо влаштування спеціалізованого контейнерного майданчика для тимчасового зберігання основних видів відходів залізничного цеху.

6. Загальні витрати при використанні мінерального сорбенту та заміні баласту складуть 569 952 грн. Локалізація та ліквідація витоків нафтопродуктів на об'єктах залізничного транспорту комбінату на ранніх етапах запобігає масштабному поширенню забруднення. Завдяки упередженню фільтрації токсичних речовин у підстиляючі шари ґрунту, а отже нівелюється необхідність виплати компенсацій за порушення вимог природоохоронного законодавства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ліпко Н. А., Максимова Н. М. Метод «світлофора» як інструмент оцінювання ефективності управління відходами в залізничному цеху. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. *Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : с, 26-27 березня 2026, Україна, Львів : зб. матер. Електрон. дан. Київ : ГО «МНГ», 2026. С. 164. DOI <https://doi.org/10.56287/8285-57-9>.
2. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення: 01.06.2026).
3. Земельний Кодекс України (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2002, № 3-4, ст.27) від 08.05.2026р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (дата звернення 25.05.2026)
4. Класифікація відходів. Кривий Ріг: Гірничо-збагачувальний комбінат, 2025. 115 с. (внутрішня документація)
5. Zakzouk M., Abdulaziz A., El-Magd I., Dahab A., Ali E. Automated oil spill detection using deep learning and SAR satellite data for the northern entrance of the Suez Canal. *Scientific Reports*. 2025. 15. doi: 10.1038/s41598-025-03028-1.
6. Mittal A., Pandey G., Siddiqui N. A., Mondal P., Molokitina N. S. QGIS: an effective tool in assessing the quantity and quality of groundwater resources. *Water Supply*. January 2025; 25 (1): 48–64. doi: <https://doi.org/10.2166/ws.2025.004>
7. Wang S., Wang L., Sun W., Miao L., Li Q., Ke C., Huang S. Advancements and Current Application Status of Bioremediation Technology for Oil-Contaminated Soil. *Advanced Sustainable Systems*. 2024. 9. doi: 10.1002/adsu.202400699.

8. Abis L., Hassan O., Hassan Kh. Biosurfactants in the remediation of petroleum-contaminated soils: Mechanisms and applications. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. 26. 375-388. doi: 10.12912/27197050/211804.

9. Deng Ya., Sun W., Li Y., Wei J., Rao R., Cao Q., Wang S., Zhang Q., Ke C. Innovative microbial activators for enhanced bioremediation of oil-contaminated soils: mechanistic insights. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2025. 41. doi: 10.1007/s11274-025-04258-1.

10. Narmanova R., Appazov N., Puntus I.F., Niyazova D., Kuzhamberdieva S., Kanzhar S., Alimkhan B., Alzhanova G. Development and application of a dry form of a new biopreparation for remediation of oil-contaminated soils in extreme continental climate conditions. *Edelweiss Applied Science and Technology*. 2025. 9. 572-584. doi: 10.55214/25768484.v9i5.6947.

11. Meištinkas R., Vaškevičienė I., Piotrowicz-Cieślak A., Krupka M., Zaltauskaite J. Sustainable Recovery of the Health of Soil with Old Petroleum Hydrocarbon Contamination through Individual and Microorganism-Assisted Phytoremediation with *Lotus corniculatus*. *Sustainability*. 2024. 16. 7484. doi: 10.3390/su16177484.

12. Закон України «Про охорону земель». Редакція від 08.11.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (дата звернення 01.06.2026)

13. ДСТУ 4462.3.01:2006. Охорона природи. Поводження з відходами. Порядок здійснення операцій. [Чинний від 2007-07-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=51038 (дата звернення: 01.06.2026).

14. Про затвердження Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства : Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки

України від 27.10.1997 № 171. Редакція від 12.01.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0285-98#Text> (дата звернення: 01.06.2026).

15. Про пакетне прийняття європейських нормативних документів CEN/CENELEC : Наказ Державного підприємства "Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості" від 28.12.2022 № 285. Редакція від 21.12.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0285774-22#Text> (дата звернення: 01.06.2026).

16. ДСТУ EN ISO 3016:2022 Нафта та супутні продукти з природних або синтетичних джерел. Визначення температури застигання (EN ISO 3016:2019, IDT; ISO 3016:2019, IDT). [Чинний від 2023-12-31]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=110356 (дата звернення: 01.06.2026).

17. Біопрепарати-деструктори: що це таке, як вони працюють і де їх застосовують. Новини від 28.03.2026. Новини 24 : веб-сайт. URL: <https://24.of.ua/biopreparaty-destruktory-shho-cze-take-yak-vony-praczuuyut-i-de-yih-zastosovuyut/> (дата звернення: 01.06.2026).

18. Олива М-14В2. УКРСПЕЦМАСЛА ТД, ТОВ : веб-сайт. URL: <https://ukrspecmasla.com/ua/p83486690-maslo-14v2.html> (дата звернення: 01.06.2026).

19. ДСТУ ISO 14001:2015 Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT). [Чинний від 2016-07-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64015 (дата звернення: 28.05.2026).

20. Про затвердження Правил пожежної безпеки на залізничному транспорті : Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 21.12.2009 № 1322. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0230-10#Text> (дата звернення: 28.05.2026).

21. ДСТУ Б В.2.7-210:2010 Будівельні матеріали. Пісок із відсівів

дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови. [Чинний від 2011-08-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26741

(дата звернення: 28.05.2026).

22. ДСТУ 4840:2007 Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови. [Чинний від 2026-03-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63086

(дата звернення: 28.05.2026).

23. Про затвердження Порядку класифікації відходів та Національного переліку відходів : Постанова Кабінету Міністрів України постанова від 20 жовтня 2023 р. № 1102. Редакція від 25.12.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1102-2023-%D0%BF#Text>

(дата звернення 28.05.2026).

24. Закон України “Про управління відходами”. Редакція від 02.03.2026. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> (дата звернення: 28.05.2026).

25. Матвеева О.Л., Демянко Д.О., Огданська І.О. Аналіз проблем та перспектив використання методів очищення нафтовмісних стічних вод. *Science and Transport Progress*. 2021. С. 181-186. URL: <http://stp.diit.edu.ua/article/download/8955/7761/13364> (дата звернення: 28.05.2026).

26. Препарат «Еколан-М» для усунення наслідків нафтових забруднень довкілля. Прес-служба НАН України. URL: https://old.nas.gov.ua/text//pdfNews/EcolanM_preparat_microbiology.pdf (дата звернення: 28.05.2026).

27. Препарат «Еколан-М». Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України : веб-сайт. URL: <https://imv.org.ua/rozrobky/pryrodoohoronni-tehnologii/> (дата звернення: 28.05.2026).

28. Про затвердження нормативів гранично допустимих

концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин : Постанова Кабінету Міністрів України від 15.12.2021 № 1325. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 28.05.2026).

29. Деякі питання збирання, перевезення, зберігання, оброблення (перероблення), утилізації та/або знешкодження відпрацьованих мастил (олив) : Постанова Кабінету Міністрів України від 17 грудня 2012 р. № 1221. Редакція від 17.09.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1221-2012-%D0%BF#Text> (дата звернення: 28.05.2026).

30. ДСТУ 4468:2005 Фільтри та очисні сепаратори для рідин. Терміни та визначення понять (ISO 5598:1985, MOD). [Скасування дії 2026-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53492 (дата звернення: 28.05.2026).

31. ДБН В.2.3-19:2025 Залізничі колії 1520 мм. Норми проектування. [Чинний від 2026-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=117342 (дата звернення: 28.05.2026).

32. ДСТУ Б В.2.7-204:2009 Будівельні матеріали. Щебінь із природного каменю для баластного шару залізничної колії. Технічні умови. [Чинний від 2010-09-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25891 (дата звернення: 28.05.2026).

33. ДСТУ-Н Б Б.2.2-7:2013 Настанова з улаштування контейнерних майданчиків. [Чинний від 2010-09-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56121 (дата звернення: 28.05.2026).

34. ДБН Б.2.2-5:2011 Планування та забудова міст, селищ і функціональних територій. Благоустрій територій. Зі Змінами № 1, № 2 та № 3. [Чинний від 2012-09-01]. URL: <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/01/DBN-B225-2011.pdf> (дата звернення: 28.05.2026).

35. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності». Редакція від 08.06.2026. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text> (дата звернення: 09.06.2026).

36. Про затвердження Методики роздільного збирання побутових відходів : Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 13.12.2023 № 1130. Редакція від 19.05.2026. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0168-24#Text> (дата звернення: 01.06.2026).

37. ДСТУ EN 206:2022 Бетон. Специфікація, продуктивність, виробництво та відповідність (EN 206:2013+A2:2021, IDT). [Чинний від 2023-12-31]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106719 (дата звернення: 28.05.2026).

38. ДСТУ EN 12390-8:2022 Випробування затверділого бетону. Частина 8. Глибина проникнення води під тиском (EN 12390-8:2019, IDT). [Чинний від 2023-12-31]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=108568 (дата звернення: 28.05.2026).

39. ДБН В.2.6-98:2009 «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення» (зі зміною № 1). [Чинний від 2020-06-01]. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3200410998024438840 (дата звернення: 28.05.2026).

40. ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Зі зміною № 1. [Чинний від 2019-02-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54057 (дата звернення: 28.05.2026).

41. ДСТУ EN 934-2:2019 Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови. Частина 2. Добавки для бетонів. Визначення, вимоги, відповідність маркування, етикетування (EN 934-2:2009 + A1:2012, IDT). [Чинний від 2020-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=87441 (дата

звернення: 28.05.2026).

42. ДСТУ 4462.3.02:2006 Охорона природи. Поводження з відходами. Пакування, маркування і захоронення відходів. Правила перевезення відходів. Загальні технічні та організаційні вимоги. [Чинний від 2007-07-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=51177 (дата звернення: 28.05.2026).

43. Machinery and systems for track maintenance. Plasser & Theurer : web site. URL: <https://www.plassertheurer.com/en/fleet/used-machines/detail/rm80-2> (accessed: 13.05.2026).

44. Yarahuaman Chamorro A., McCartney J.S. Seismic deformation response of ballasted rail embankments. Transportation Geotechnics. 2024. 49. 101441. doi: 10.1016/j.trgeo.2024.101441.

45. Railroad Track Mats. LBFoster : web site. URL: <https://lbfoster.com/rail/friction-management/friction-management-products/railroad-absorbent-track-mat> (accessed: 13.05.2026).

46. Nisha et al. Overview of Microbial Waste Management of Organic Waste Through Industrial Biotechnology. In: Ghosh, S., Das, A.P., Mohan, C., Hullebusch, E.v. (eds) Advances in Organic Waste Conversion Through Industrial Biotechnology. Sustainable Environmental Waste Management Strategies. Springer, Cham. 2026. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-032-11377-1_14

47. ДСТУ ISO 14024:2018 Екологічні маркування та декларації. Екологічне маркування типу I. Принципи та процедури (ISO 14024:2018, IDT). [Чинний від 2020-01-01]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80757 (дата звернення: 28.05.2026).

48. Eco-friendly sorbent material for removing oil DOI: <https://patents.google.com/patent/US12220684B2/en> (accessed: 13.05.2026).

49. Податковий кодекс України. Редакція від 31.05.2026. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text>.

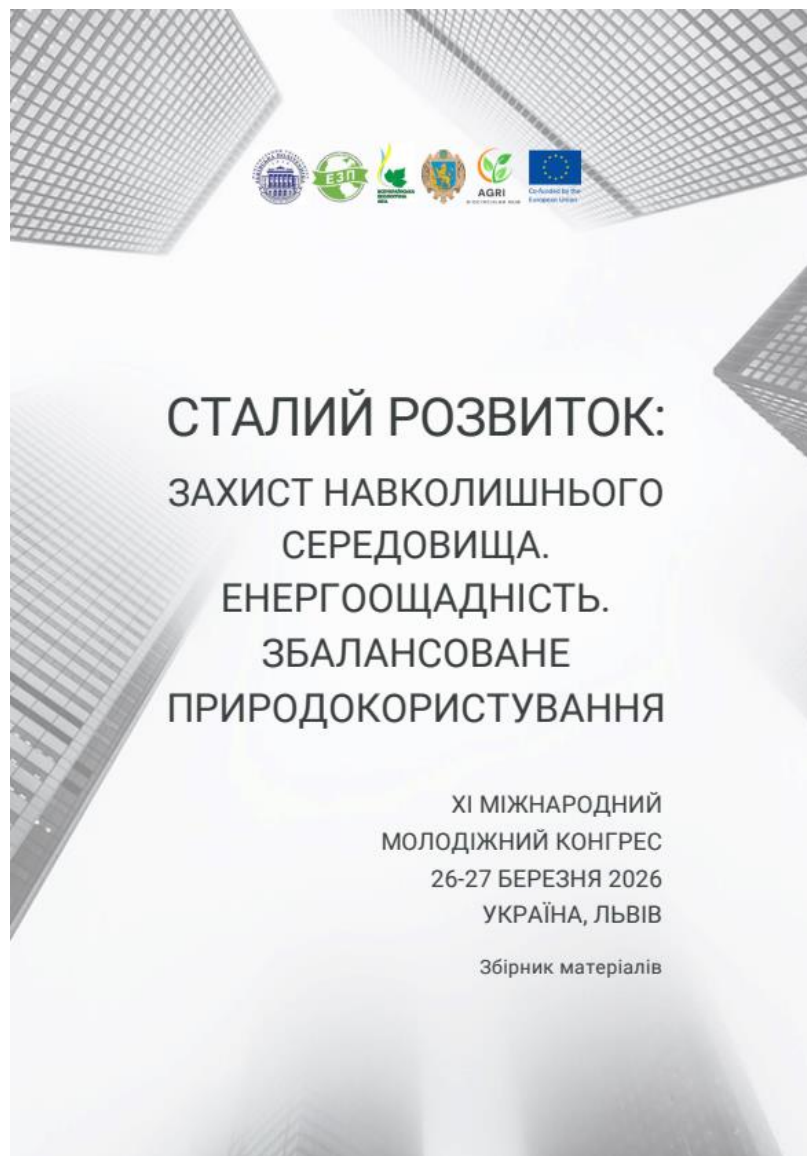
50. Про встановлення тарифів на послуги з поводження з побутовими відходами (збирання, перевезення та захоронення) у м. Кривому Розі : Рішення Криворізької міської ради № 110 від 23.01.2025 р. URL: <https://ecospectrans.com.ua/taryfy/> (дата звернення: 03.06.2026).

51 Державний Класифікатор України Класифікатор відходів ДК 005-96 N 89 від 29.02.1996. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0089217-96#Text>.

ДОДАТОК А Список публікації здобувача

1. Ліпко Н. А., Максимова Н. М. Метод «світлофора» як інструмент оцінювання ефективності управління відходами в залізничному цеху. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. *Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : XI Міжнародний молодіжний конгрес, 26-27 березня 2026, Україна, Львів : зб. матер. Електрон. дан. Київ : ГО «МНГ», 2026. С. 164. DOI <https://doi.org/10.56287/8285-57-9>.

Продовження дод. А



Кафедра екології та збалансованого природокористування
 Львівська обласна організація Всеукраїнської Екологічної Ліги
 Львівська обласна військова адміністрація
 WIDERA – Agri-BioCircular-Hub
 Horizon Europe

УДК 591.663

С 76

DOI <https://doi.org/10.56287/8285-57-9>



Національний університет «Львівська політехніка»

С 76 **Сталий** розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. XI Міжнародний молодіжний конгрес, 26-27 березня 2026, Україна, Львів : зб. матер. — Електрон. дан. — Київ : ГО «МНГ», 2026. — 342 с. : рис., табл., фот. — on-line. = *Sustainable Development: Environmental Protection. Energy Saving. Sustainable Environmental Management. 11th International Youth Congress, 26-27 March 2026, Lviv : Proceedings — Eelectron. Data — Kyiv : NGO "ISG", 2026. — 342 p. : illustr, tabl, photo'. — on-line.*

ISBN 978-617-8285-57-9 (On-line)

Збірник матеріалів відображає наукові дослідження авторів у сфері: екології, екологічної та цивільної безпеки, туризму, підприємництва та біржової діяльності. Всі матеріали подано в авторській редакції. Відповідальність за точність поданих фактів, цитат, цифр і прізвищ несуть автори.

УДК: 591.663

ISBN 978-617-8285-57-9 (On-line)

© Авторський колектив, 2026
 © НУ «Львівська політехніка», 2026
 © ГО «МНГ», 2026

126.	МУСІЄНКО А.В., МАСЮК О.М. ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ ДЛЯ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ.....	151
127.	КРИХОВЕЦЬ О.В., ТИСЛЮКЕВИЧ О. БІОРОЗКЛАДНІ КРОХМАЛЬНІ ПОКРИТТЯ ЯК ОСНОВА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ КАПСУЛЬОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ.....	152
128.	ЛИСАК Ю.В., МИХАЛЮК І.М., ШТОГУН А.О. РОЛЬ КОРИННИХ ДЕРЕВОСТАНІВ НПП «КРЕМЕНЕЦЬКІ ГОРИ» У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ЗБАЛАНСОВАНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ.....	153
129.	МАМАТОВ М.С., БОСЮК А.С. ОСОБЛИВОСТІ ПОШУКУ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ ІНДИКАТОРІВ ПРОГРЕСУ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ.....	154
130.	СЕМЧУК Н.Я., ПСЮК І.С. СТАЛІЙ РОЗВИТОК ТУРИЗМУ ЯК ЧИННИК ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ.....	155
131.	АНТОНОВ М.Д., МАЛЬОВАНИЙ М.С. «ЗЕЛЕНА ЕКОНОМКА» ЯК ФУНДАМЕНТАЛЬНИЙ АСПЕКТ ДОСЯГНЕННЯ МЕТИ СТАЛОГО РОЗВИТКУ.....	156
132.	ДІДКІВСЬКА Ю.А., ДЕМ'ЯНЧУК В.І. СТАЛЕ ЛІСОКОРИСТУВАННЯ ЯК ЧИННИК ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРИЗНОМАНІТТЯ.....	157
133.	МУДРИК В.В. БЕЗПЕКА РОБОТИ ВИКОНАВЧИХ ОРГАНІВ МЕХАНІЗМІВ ВИВАНТАЖЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ІЗ СМІТТЄВОЗІВ.....	158
134.	ТЕРПЕЛІВЕЦЬ С.І. ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ГРОМАДЯНСЬКОЇ НАУКИ ДЛЯ МОНИТОРИНГУ БІОРИЗНОМАНІТТЯ ТА ЕКОПРОСВІТИ В КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ.....	159
135.	МОРОЗ І.О., МОРОЗ Р.О. ПРОБЛЕМИ ТА РОЗВИТОК СТАЛОГО ТУРИЗМУ В ОДЕСЬКОМУ РЕГІОНІ.....	160
136.	САБАДАШ О.В. РОЛЬ СТАНДАРТІВ ІСУСН У СИСТЕМІ ОЦІНКИ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ.....	161
137.	ЛІПКО Н.А., МАКСИМОВА Н.М. МЕТОД «СВІТЛОФОРА» ЯК ІНСТРУМЕНТ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ В ЗАЛІЗНИЧНОМУ ЦЕХУ.....	162
138.	КОСТИК Д.С., ПЕТРУШКА К.І. ЗЕЛЕНІ НАСАДЖЕННЯ ЯК ЧИННИК ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ МІСТА.....	163
139.	ПАВЛІХА Т.В., ПЕТРУШКА К.І. ЕКОЛОГІЧНА РОЛЬ НАЦІОНАЛЬНИХ ПАРКІВ УКРАЇНИ.....	164
140.	ПАЛАМАРЕНКО В.О., БЛИЗНЮК М.М. ПРОФІКАЦІЯ У СУЧАСНОМУ ДИЗАЙНІ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ СВІДОМОСТІ.....	165
141.	БАРАБАСЬ Ф.Д. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ ДЕРЖАВИ ШЛЯХОМ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	166
142.	МОКРИЙ В.І., ЛИСИК П.М., СКРЕНТОВИЧ О.Р., ЯКИМІВ С.І., БОБУШ А.-Д.М., МАЛАХОВ О.В. ТЕХНОЛОГІЇ ГІС-ПРОЕКТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ КОРИДОРІВ ЯВОРІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ.....	167
143.	СЕРЕДА А.В., ВРОНСЬКА Н.Ю. ЗМІНА КЛІМАТУ ТА АГРАРНИЙ СЕКТОР УКРАЇНИ: ВИКЛИКИ, АДАПТАЦІЯ ТА ЗАХОДИ ПОМ'ЯКШЕННЯ.....	168
144.	РОМАНЮХА М.І., ХАВІКОВА К.Є. ПРАКТИЧНІ ПРИКЛАДИ ТА ВИКЛИКИ В ОРГАНІЗАЦІЇ СОРТУВАННЯ СМІТТЯ.....	169

ЛІПКО Н.А., МАКСИМОВА Н.М. (УКРАЇНА, ЗАПОРІЖЖЯ)

**МЕТОД «СВІТЛОФОРА» ЯК ІНСТРУМЕНТ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ В ЗАЛІЗНИЧНОМУ ЦЕХУ**

*ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»,
69008, Південне шосе, 80, м. Запоріжжя, Україна; natalia.lipko@mipolytech.education;
natalya.maksimova@mipolytech.education*

Abstract. The study investigates the application of the “traffic light method” as a practical instrument of internal environmental auditing for assessing the effectiveness of waste management at industrial production sites. The approach is based on a system of evaluation indicators adapted to the operational characteristics of specific structural units, particularly railway workshops. The proposed method is consistent with the requirements of ISO 14001 Environmental Management Systems and follows the principles of the Plan–Do–Check–Act cycle, which provides a framework for the continuous improvement of environmental management processes.

У сучасних умовах промислової діяльності для комплексного аналізу результатів роботи різних структурних підрозділів, у тому числі логістичних служб, часто застосовують підхід, відомий як «метод світлофора». Його використання пояснюється простотою сприйняття результатів, зручністю графічного представлення інформації та можливістю швидко оцінювати стан виробничих процесів. Кольорова індикація показників дозволяє оперативно виявляти потенційні екологічні або виробничі ризики та формує зрозумілий механізм оцінювання для всіх учасників управлінської діяльності. У сучасних інформаційних системах управління підприємствами, зокрема CRM- та ERP-платформах, подібні інструменти візуалізації використовуються досить широко. Вони допомагають швидко визначати проблемні ділянки діяльності, сприяють прийняттю більш обґрунтованих управлінських рішень і дозволяють визначати пріоритетні напрями підвищення ефективності операційних процесів.

Для оцінювання результативності системи управління відходами доцільно формувати систему критеріїв, що застосовуються під час проведення внутрішнього екологічного аудиту. До таких показників можуть належати стан та організація зон тимчасового накопичення відходів, відповідність контейнерів і тари встановленим вимогам, дотримання принципів роздільного збирання та запобігання змішуванню різних видів відходів, контроль тривалості їх зберігання, виконання вимог екологічної безпеки, правильність ведення облікової документації, а також контроль доступу до місць зберігання та своєчасність їх очищення.

Формування переліку критеріїв повинно здійснюватися з урахуванням специфіки діяльності окремих виробничих підрозділів. Зокрема, у залізничному цеху під час експлуатації та обслуговування технічного обладнання утворюються різні види виробничих відходів. До них належать використані мастильні матеріали, відпрацьовані фільтри транспортних засобів, промаслені ганчірки, пісок із домішками нафтопродуктів, забруднена тара, промаслений баласт, зношені гальмівні накладки, а також дерев'яні шпали та елементи стрілочних переводів.

Оцінювання ефективності функціонування системи екологічного менеджменту в межах такого підрозділу доцільно здійснювати за декількома ключовими напрямами. Серед них: організація тимчасового накопичення відходів, процес передавання відходів на утилізацію або видалення, облаштування спеціалізованих місць зберігання небезпечних відходів, поводження з відходами нафтопродуктів, а також управління відходами, що містять кислотні або лужні речовини.

Періодичний перегляд і вдосконалення зазначених критеріїв забезпечує можливість систематичного аналізу ефективності екологічного управління та сприяє його подальшому розвитку. Такий підхід відповідає принципам міжнародного стандарту ISO 14001 Environmental Management Systems, згідно з яким система екологічного менеджменту функціонує на основі циклу постійного вдосконалення «Plan – Do – Check – Act». Використання цієї моделі дає змогу ефективно організувати управління екологічними аспектами діяльності навіть на рівні окремих виробничих підрозділів.

Варто також зазначити, що стандарт ISO 14001 Environmental Management Systems має узгоджену структуру з іншими міжнародними стандартами систем управління, зокрема ISO 9001 Quality Management Systems та ISO 45001 Occupational Health and Safety Management Systems. Завдяки цьому підприємства можуть впроваджувати ці стандарти як окремо, так і в межах інтегрованих систем менеджменту, що дозволяє підвищити ефективність управління якістю продукції, безпекою праці та екологічними аспектами виробничої діяльності.

ДОДАТОК Б Перелік та кодифікація відходів підприємства із зазначенням їхнього хімічного складу та класу небезпеки

№	Назва відходу	Код відходу за [23]	Назва відходу за [23]	Найменування за [51]	Необхідність надання зразку відходу	Пояснення	Хімічний склад (який є на сьогодні)	Небезпечні компоненти та властивості [23]
1	Полімерна тара та упаковка	15 01 02	Пластмасова упаковка		ні	Для виконання виробничої програми на підприємство поставляється «Еколан» в поліетиленових (поліпропіленових) 2-шарових мішках.	пластмаси спеціальні – 98,0%; домішки неідентифіковані за складом (пісок, пил) – 2,0 %	
2	Промаслене ганчір'я	15 02 02 *	Сорбенти, фільтрувальні матеріали (включаючи оливні фільтри інакше не зазначені), обтиральне ганчір'я та захисний одяг, забруднені небезпечними речовинами	було – Ганчір'я промасляне	Небезпечний	Утворення ганчір'я промасленого відбувається при технічному обслуговуванні, ремонті транспортного і технологічного обладнання підприємства, а також внаслідок списання забруднених бавовняних і брезентових рукавиць. В якості обтирального матеріалу використовуються текстильні відходи. У процесі експлуатації обтиральні матеріали забруднюються нафтопродуктами, частинками металу та іншими речовинами, які накопичуються і призводять до остаточного	тканина бавовняна – 71,82 %, масла нафтові мінеральні – 27,68 % домішки (в т.ч. важкі метали) – ≤0,5	C51 Вуглеводні та їх киснево-, азото- та/або сірковмісні похідні, не зазначені у цьому додатку. HВ3 Легкозаймистість. HВ14 Екотоксичність

№	Назва відходу	Код відходу за [23]	Назва відходу за [23]	Найменування за [51]	Необхідність надання зразку відходу	Пояснення	Хімічний склад (який є на сьогодні)	Небезпечні компоненти та властивості [23]
			небезпечними речовинами			<p>Мікроорганізми препарату здатні рости і проводити деструкцію вуглеводнів. Після завершення процесу очищення біомаса внесених і розмножених в забрудненому середовищі мікроорганізмів препарату відмирає і перетворюється в органічні речовини, які сприяють розвитку природної мікрофлори і відновлення екосистеми. Після обробки сорбентом не потрібно збір небезпечних відходів з місця забруднення і спеціальне знищення. "Еколан-М" екологічно нешкідливий, виготовлений з рослинної сировини, не містить патогенної мікрофлори і відповідає всім вимогам чинного санітарного законодавства України. Ліквідація проливів нафтопродуктів холодний період року (менше -10 град.С)</p>		

№	Назва відходу	Код відходу за [23]	Назва відходу за [23]	Найменування за [51]	Необхідність надання зразку відходу	Пояснення	Хімічний склад (який є на сьогодні)	Небезпечні компоненти та властивості [23]
6	Сорбенти для ліквідації проливів нафтопродуктів	15 02 03	Сорбенти, фільтрувальні матеріали (включаючи оливні фільтри інакше не зазначені), обтиральне ганчір'я та захисний одяг, забруднені небезпечними речовинами		так	Для ліквідації проливів нафтопродуктів використовується біодеструктивний нафтопоглинаючий сорбент «Еколан-М» за ТУ У 24.6-35780370-001-2009, поглинальна здатність якого сягає 1 т. на 3 т. нафтопродуктів. Мікроорганізми препарату здатні рости і проводити деструкцію вуглеводнів. Після завершення процесу очищення біомаса внесених і розмножених в забрудненому середовищі мікроорганізмів препарату відмирає і перетворюється в органічні речовини, які сприяють розвитку природної мікрофлори і відновлення екосистеми. Після обробки сорбентом не потрібно збір небезпечних відходів з місця забруднення і спеціальне знищення. "Еколан-М" екологічно нешкідливий, виготовлений з рослинної сировини, не		

№	Назва відходу	Код відходу за [23]	Назва відходу за [23]	Найменування за [51]	Необхідність надання зразку відходу	Пояснення	Хімічний склад (який є на сьогодні)	Небезпечні компоненти та властивості [23]
						містить патогенної мікрофлори і відповідає всім вимогам чинного санітарного законодавства України. Ліквідація проливів нафтопродуктів теплий період року (більше +10 град.С)		
7	Шпали залізобетонні відпрацьовані	17 01 07	Суміші або окремі фракції бетону, цегли, облицювальної плитки та кераміки інші, ніж зазначені за кодом 17 01 06		так	При проведенні ремонтних робіт на залізничній колії здійснюється: – заміна (переукладання) пошкоджених залізобетонних шпал на нові, в результаті чого утворюється відхід відпрацьовані залізобетонні шпали.	залізобетон – 97,5% у т.ч.: - цемент – 20,0 %; - пісок – 40,0 %; - граніти природні – 20,0 %; - залізо (арматура) – 17,5 %; нафтопродукти змішані – 2,5 %	
8	Відпрацьовані дерев'яні шпали і бруси, в т.ч. забруднена деревина	17 02 04*	Деревина, скло та пластмаси, що містять або забруднені небезпечними речовинами	було – Відходи деревини забруднені	Небезпечний	Для залізничних колій, в кар'єрі підприємства використовуються дерев'яні шпали та дерев'яні балки стрілочних переводів. Відходи – шпали і балки стрілочних переводів – утворюються в результаті ремонту або переукладання залізничних колій. Залізничні дерев'яні шпали і балки мають спеціальне просочення, яка захищає деревину	деревина – 97,1%, нафтопродукти – 2,9%	C51 Вуглеводні та їх киснево-, азото- та/або сірковмісні похідні, не зазначені у цьому додатку НВЗ Легкозаймистість

№	Назва відходу	Код відходу за [23]	Назва відходу за [23]	Найменування за [51]	Необхідність надання зразку відходу	Пояснення	Хімічний склад (який є на сьогодні)	Небезпечні компоненти та властивості [23]
						від гниття, а також слідів нафтопродуктів. До складу відходів також включена інша забруднена деревина		
9	Баласт залізничний промаслений	17 05 07*	Дорожній баласт (щебінь), що містить небезпечні речовини		небезпечний	При проведенні ремонтних робіт на залізничній колії здійснюється: – заміна шпал на нові залізобетонні та очищення щебеневого шару, в результаті чого утворюється відхід баласт залізничний промаслений	Якісний склад відходів та вміст в них небезпечних речовин: - кремнію оксид (SiO ₂) – 61,0 мас. %; - алюмінію оксид (Al ₂ O ₃) – 12,5 мас.%; - заліза оксиди(FeO+Fe ₂ O ₃) – 5,5 мас. %; - кальцію оксид (CaO) – 3,3 мас. %; - натрію та калію оксиди (K ₂ O, Na ₂ O) – 7,0 мас.%; - нафтопродукти змішані –5,5 мас.%; - втрати маси при прокалюванні – 5,2 мас. %.	С 51 Вуглеводні та їх киснево-, азото- та/або сірковмісні похідні НВ 14 Екотоксичність

ДОДАТОК В Розкриття факту делегування завдань генеративному ШІ

Автор заявляють про використання генеративного ШІ у процесі дослідження та підготовки рукопису. Відповідно до таксономії GAIDeT (2025), наведені нижче завдання були делеговані інструментам генеративного ШІ за повного людського нагляду:

- Пошук і систематизація літератури
- Переклад
- Реформатування

Використаний інструмент генеративного ШІ: Gemini.

Повну відповідальність за фінальний рукопис несуть автори.

Інструменти генеративного ШІ не зазначаються як автор та не несуть відповідальності за кінцеві результати.

Декларацію подав(ла): Наталя Ліпко

Додаткова примітка: Я використав Gemini для допомоги у синтезі літератури, її перекладі та реформатування тексту.