

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет гірничо-металургійний
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

**Кваліфікаційна робота
допущена до захисту**
Гарант ОПП «Інноваційні технології та системи захисту навколишнього середовища»

ПІКАРЕНЯ Д.С. _____

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Інноваційні технології та системи захисту навколишнього
середовища»

за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

на тему «Дослідження інноваційних підходів та технологій мінімізації
пиління хвостосховищ відходів збагачення залізних руд»

Керівник Максимова Н.М. _____
(Прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант від
бази практики Толкачов В.В. _____
(Прізвище та ініціали)

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

Здобувач Тішина В.М. _____
(Прізвище та ініціали) (підпис)

Кам'янське 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет гірничо-металургійний
 Кафедра безпеки праці та охорони довкілля
 Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
 Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища
 Освітньо-професійна програма Інноваційні технології та системи за-
 хисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП «Інноваційні технології
та системи захисту навколишнього
середовища»

Пікареня Д.С. _____
«27» грудня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Тішиної Валерії Миколаївни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження інноваційних підходів та технологій мінімізації пиління хвостосховищ відходів збагачення залізних руд

керівник роботи Максимова Н.М., доцент кафедри безпеки праці та охорони до-
вкілля, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 14.10.2024 р. №238/14.10.2024

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 03.02.2025 р.

Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична літе-
ратура з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з те-
матики природокористування та захисту навколишнього середовища, літературні
джерела, технологічні інструкції, дані ПРАТ «ІНГЗК», матеріали зібрані під час інже-
нерно-природоохоронної практики

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Реферат. Вступ. 1 Аналіз та
пошук методів скорочення винесення пилу з поверхонь хвостосховищ. 2 Кращі
практики та технології мінімізації пиління хвостів відходів збагачення залізних
руд з місця їх складування. Характеристика хвостосховища ПРАТ «ІНГЗК». 3
Визначення параметрів роботи спринклерної системи з метою зрошення карт
хвостосховища. 4 Охорона праці. 5 Обґрунтування економічної ефективності
впровадження методів мінімізації пиління сухих хвостів. Висновки

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням
обов'язкових креслень) презентація Microsoft Power Point в кількості 15 слайдів.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Максимова Н.М., доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля, канд. техн. наук, доцент
2	Максимова Н.М., доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля, канд. техн. наук, доцент
3	Максимова Н.М., доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля, канд. техн. наук, доцент
4	Максимова Н.М., доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля, канд. техн. наук, доцент
5	Максимова Н.М., доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля, канд. техн. наук, доцент

7. Дата видачі завдання 27.12.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Реферат, зміст, вступ	07-08.01.2025
2	Розділ 1. Аналіз та пошук методів скорочення винесення пилу з поверхонь хвостосховищ	13-15.01.2025
3	Розділ 2. Кращу практики та технології мінімізації пиління хвостів відходів збагачення залізних руд з місця їх складування	22-23.01.2025
4	Розділ 3. Визначення параметрів роботи спринклерної системи з метою зрошення карт хвостосховища	23-27.01.2025
5	Розділ 4. Охорона праці	27.01.2025
5	Розділ 5. Обґрунтування економічної ефективності впровадження методів мінімізації пиління сухих хвостів	30-31.01.2025
6	Висновки, перелік посилань	30-31.01.2025
7	Оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	03-10.02.2025
8	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03-05.02.2025
9	Передзахист	10-11.02.2025
10	Захист кваліфікаційної роботи	19-20.02.2025
11	Реферат, зміст, вступ	07-08.01.2025

Здобувач

Тішина В.М.

Керівник

Максимова Н.М.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 116 с., 27 рис., 18 таблиць, 39 літературних джерел, 2 додатки.

Об'єкт дослідження: хвостосховище як джерело пилового забруднення.

Предмет дослідження: сучасні методи мінімізації пиління з поверхонь хвостосховищ.

Мета кваліфікаційної роботи: пошук та обґрунтування екологічно ефективних рішень для зменшення пиління хвостосховищ, спрямованих на захист довкілля та здоров'я населення.

У вступі розглянуто проблему пилового забруднення, його вплив на довкілля та здоров'я населення.

У розділі 1 проаналізовано чинники пилоутворення та розглянуто хімічні, біологічні і технічні методи зниження пилу.

В розділі 2 розглянуто ефективність застосування реагентів «Лексол» і «VTA-50», визначено оптимальні умови їх застосування.

В розділі 3 розраховано використання спринклерних систем для підтримки стабільної вологості поверхонь хвостосховищ, та виявлено переваги комбінування реагентів із зрошенням.

В розділі 4 розглянуто заходи для забезпечення безпечних умов роботи з реагентами і зрошувальними системами.

В 5 розділі проаналізовано витрати на впровадження заходів, що підтверджує їхню доцільність.

У висновках наведено основні результати кваліфікаційної роботи.

ХВОСТОСХОВИЩЕ, ПИЛОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ, РЕАГЕНТИ, СПРИНКЛЕРНА СИСТЕМА, БІОЛОГІЧНА РЕКУЛЬТИВАЦІЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТА ПОШУК МЕТОДІВ СКОРОЧЕННЯ ВИНЕСЕННЯ ПИЛУ З ПОВЕРХОНЬ ХВОСТОСХОВИЩ.....	9
1.1 Характеристика хвостосховищ та їх вплив на навколишнє середовище.....	9
1.2 Фактори, що впливають на пилоутворення.....	12
1.3 Методи закріплення сухих поверхонь хвостосховищ.....	16
1.4 Організаційні заходи зниження пиління сухих поверхонь хвостосховищ.....	17
1.5 Технічна заходи зниження пиління сухих поверхонь хвостосховищ	20
1.6 Закріплення поверхонь сухих поверхонь хвостосховищ хімічними речовинами.....	22
1.7 Біологічні методи поверхонь сухих поверхонь хвостосховищ.....	25
Висновки до розділу 1.....	28
2 КРАЩІ ПРАКТИКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ МІНІМІЗАЦІЇ ПИЛІННЯ ХВОСТІВ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНИХ РУД З МІСЦЯ ЇХ СКАЛДУВАННЯ	30
2.1 Характеристика хвостосховища	30
2.2 Контроль та запобігання пиління на хвостосховищі.....	34
2.3 Розгляд методів зниження пиління хвостосховищ.....	36
2.4 Водорозчинний реагент «Лексол».....	37
2.5 Флокулянт «VTA-50».....	40
2.6 Застосування екофіксатора PG 100 (DP).....	44
2.7 Закріплення поверхонь що пилять водним розчином природнього бішофіту.....	50

	6
Висновок до розділу 2.....	57
3 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СПРИНКЛЕРНОЇ СИСТЕМИ З МЕТОЮ ЗРОШЕННЯ КАРТ ХВОСТОСХОВИЩА.....	58
3.1 Параметри, характеристики спринклерних систем	59
3.2 Розрахунок елементів техніки спринклерних систем.....	62
3.3 Визначення кількості одночасно працюючих апаратів	63
3.4 Розрахунок дальності польоту струмені.....	66
3.5 Оптимальна частота обертання апарата.....	70
3.6 Визначення середньої інтенсивності дощу	73
3.7 Параметри та характер розпаду струменя на каплі.....	73
3.8 Гідравлічний розрахунок спринклерної системи.....	74
Висновки до розділу 3.....	82
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	84
Висновки до розділу 4.....	90
5 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДІВ МІНІМІЗАЦІЇ ПИЛІННЯ СУХИХ ХВОСТІВ	92
Висновки до розділу 5.....	94
ВИСНОВКИ.....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	97
Додаток А. Матеріали за участі у International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”	103
Додаток Б. Матеріали за участі у 48-й Науково-технічній конфере- нції молоді з нагоди 91-річчя ПАТ «Запоріжсталь».....	110

ВСТУП

Актуальність дослідження. Гірничодобувна промисловість сьогодні розвивається високими темпами, що супроводжується серйозними екологічними викликами. Однією з найбільш вагомих проблем є утворення пилу на сухих поверхнях хвостосховищ, який забруднює атмосферу. Ця проблема є особливо гострою для промислових регіонів України, таких як Криворіжжя, де експлуатація хвостосховищ та накопичення відходів збагачення у хвостосховищах спричиняє значний екологічний та соціальний вплив.

Пиління хвостосховищ є потенційним джерелом забруднення повітря, що негативно впливає на здоров'я людей і стан екосистем. Дрібнодисперсний пил (частинки менше 5 мкм) здатний проникати у дихальні шляхи, спричиняючи серйозні захворювання. Зростання температури та посилення посушливих умов поглиблюють проблему. У зв'язку з цим мінімізація пиління сухих поверхонь хвостосховищ є актуальною науково-практичною задачею.

Мета дослідження. Метою роботи є пошук та обґрунтування екологічно ефективних рішень для зменшення пиління хвостосховищ, спрямованих на захист довкілля та здоров'я населення.

Завдання дослідження:

- провести аналіз основних факторів, що спричиняють пиловиділення на хвостосховищах залізорудного виробництва (швидкість та напрямок вітру, гранулометричний склад хвостів, рівень вологості поверхонь та кліматичні умови регіону) з метою кількісної оцінки їхнього впливу;
- визначити ефективність різних підходів до зниження пиловиділення – хімічних (використання реагентів для утворення захисних покриттів), біологічних (озеленення поверхонь хвостосховищ) та організа-

ційних (зволоження поверхонь за допомогою спринклерних систем) – з проведенням порівняльного аналізу їх дієвості;

- оцінити вплив застосування реагентів «Лексол» та «VTA-50» на зниження пиловиділення, встановити ступінь зменшення пилу (до 85%) та визначити тривалість їхнього ефекту;

- на основі польових досліджень запропонувати схему застосування реагентів у комбінації з іншими заходами для забезпечення ефективного закріплення поверхонь хвостосховища за економічно прийнятних умов;

- провести розрахунки параметрів спринклерних систем для зволоження сухих ділянок хвостосховища, визначити їхній вплив на рівномірний розподіл вологи, зниження пиловиділення.

Об'єкт дослідження: пилопригнічення сухих карт хвостосховищ.

Предмет дослідження: сучасні методи мінімізації пиління з поверхонь хвостосховищ.

Методи дослідження. Робота базується на використанні аналітичних та польових методів, включаючи вивчення фізико-хімічних властивостей матеріалів та тестування реагентів у реальних умовах експлуатації хвостосховищ.

Практична цінність роботи: розроблено оригінальні пропозиції щодо реалізації спринклерних систем в умовах гірничо-збагачувальних комбінатів для підвищення екологічної безпеки хвостового господарства та прилеглих територій, а також економії матеріальних ресурсів на впровадження пилопригнічуючих заходів.

1 АНАЛІЗ ТА ПОШУК МЕТОДІВ СКОРОЧЕННЯ ВИНЕСЕННЯ ПИЛУ З ПОВЕРХОНЬ ХВОСТОСХОВИЩ

Сучасна гірничодобувна галузь, що характеризується високими темпами видобутку корисних копалин і переробки мінералів, викликає серйозні екологічні наслідки. Одним із найбільш загрозливих є пилове забруднення, яке створює суттєві проблеми для промислових районів, зокрема таких, як Криворізький регіон.

Забруднення навколишнього середовища пилом, яке виноситься з поверхонь хвостосховищ, є однією з ключових екологічних проблем. Воно не лише зменшує якість повітря, але й має негативний вплив на здоров'я населення та природне середовище.

З метою зниження ризиків екологічно небезпечних явищ необхідно використовувати інноваційні підходи до закріплення сухих поверхонь хвостосховищ, використовуючи екологічно безпечні матеріали для покриття. Такі технології мають забезпечувати стійкість до агресивних впливів та змін погодних умов, характерних для середовища хвостосховищ. Окрім того, важливо здійснити наукову оцінку та інтеграцію цих рішень у систему екологічного управління підприємств.

1.1 Характеристика хвостосховищ та їх вплив на навколишнє середовище

Сучасні гірничодобувні підприємства характеризуються активним видобутком і переробкою сировини, що призводить до значного впливу на довкілля, зокрема, до забруднення повітря пилом. Основним джерелом такого забруднення виступають хвостосховища, які є відкритими і неконтрольованими осередками пилоутворення. В Україні темпи

накопичення відходів та рівень забруднення навколишнього середовища в десятки разів перевищують аналогічні показники в європейських країнах [1].

Хвостосховище – природна або штучно створена ємкість для складування хвостів (шламів), які переміщуються з місць їх утворення переважно гідравлічним способом, і для освітлення води [2]. Із видобутої руди на гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК) отримують концентрат, а у хвостосховища переміщують відходи переробки. Хвости надходять у вигляді пульпи (вода, пісок).

Відгороджується найчастіше хвостосховище дамбою, яка намивається із хвостів і додатково зміцнюється. У хвостосховищі проходить процес поступового осідання твердої фази хвостів, іноді додають спеціальний реагенті-коагулянт та флокулянт. Вода відстоюється піддається очищенню і повертається на збагачувальну фабрику для технологічних потреб, або скидається у локальні водойми [1,5].

Хвостосховища у Кривому Розі є невід’ємною частиною гірничо-збагачувальних комбінатів, на яких залізні руди піддаються обробці для отримання металевого концентрату.

Хвостосховища Кривогу Рогу – об’єкти високої потенційної екологічної небезпеки, потужні джерела забруднення атмосферного повітря, підземних вод і джерел водопостачання, ґрунтів, чинники деградації, фрагментації, трансформації рослинного покриву і тваринного світу, фактори формування професійних ризиків, професійної та загальної захворюваності населення регіону.

Після наміву карти у зонах випуску хвостової пульпи на хвостосховищах утворюються сухі ділянки, які виступають над поверхнею води. Хвости на ділянках укосів швидко віддають вологу, висихають і при сильних поривах вітру стають джерелами виділення пилу.

Під час експлуатації хвостосховищ виникає проблема пилоутворення, яка може бути наслідком вітрової ерозії сухих ділянок хвостос-

ховищ. Вітрова ерозія може бути основною причиною втрати і розсіювання хвостового матеріалу з дамби хвостосховища в навколишнє середовище. Таке розсіювання пилу може бути серйозною проблемою, а також становити небезпеку для здоров'я мешканців прилеглих населених пунктів а також загрозою для здоров'я мешканців прилеглих населених пунктів, і може також завдати шкоди здоров'ю тварин, погіршити стан посівів, а також спричиняти забруднення ґрунту та води [3]. Пил, який має ерозійні властивості і містить частинки менше 5 мікрметрів, може мати серйозний вплив на здоров'я людей, спричиняючи різноманітні респіраторні захворювання, алергічні реакції та інші проблеми зі здоров'ям.

У Криворізькому регіоні, внаслідок впливу пилу на працівників відкритих цехів ГЗК, щорічно фіксуються професійні легеневі захворювання, такі як пиловий бронхіт та пневмоконіоз (професійне захворювання, спричинене тривалим впливом підвищених концентрацій промислового пилу чи аерозолів, яке характеризується дифузними запальними та дегенеративно-дистрофічними змінами слизової оболонки трахеї та бронхів) [4]. Вивчення впливу виробничого середовища на здоров'я працівників дає можливість виявити найбільш впливові фактори. Так до основних негативних факторів виробничого середовища відносимо:

- пил переважно фіброгенної дії при нормативному значенні 2 мг/м^3 коливається в межах $2,4\text{-}4,6 \text{ мг/м}^3$;

- шум при нормативному значенні 80 дБ коливається в межах від 72 до 95 дБ, але перевищення становить на 95% робочих місць [5].

Захворювання, які виявляються у працівників гірничо-збагачувальних комплексів, розвиваються протягом тривалого часу, що ускладнює визначення чітких причин їх появи (стаж роботи хворих становить понад 10 років) [4]. Проте враховуючи структуру хвостового господарства ГЗК та кількість осіб, які регулярно піддаються впливу

пилу, можна зробити обґрунтованим припущення, що пил хвостосховище негативно впливає на здоров'я працівників. Одним із найбільш ефективних рішень для зменшення пилового забруднення навколишнього середовища та захисту персоналу є розробка заходів та засобів, спрямованих на обмеження викидів пилу в атмосферу. Вибір таких засобів має включати варіанти, які знижують рівень пилу, що збільшується з сухих поверхонь промислових об'єктів ГЗК. Важливо, щоб ці засоби були універсальними і могли ефективно працювати не тільки на хвостосховищах (включаючи дії), а й на автодорогах за будь-яких температур і вологості [4].

Контроль за вітровою ерозією та стабілізація сухих ділянок хвостосховищ вимагає застосування різних методів, включаючи організаційних, технічних, хімічних та біологічних.

Таким чином, хвостосховища в Кривому Розі відіграють важливу роль у гірничо-металургійному комплексі, забезпечуючи зберігання та обробку хвостів збагачення. Проте їхній експлуатаційний процес потребує постійного контролю та удосконалення технологій для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема, врахування можливих екологічних ризиків і впливів на здоров'я людей.

1.2 Фактори, що впливають на пилоутворення

Після намиву карти у зонах випуску хвостової пульпи утворюються сухі ділянки, які виступають над водною поверхнею. Хвости на сухих ділянках швидко віддають вологу, висихають і при сильних поривах вітру стають джерелами виділення пилу.

Переважає більшість хвостів – ерозійно-небезпечний пил, що містить частинки діаметром менше 5 мкм [6].

Проблема боротьби з вітровою ерозією на поверхнях хвостосховищ та їх закріплення за допомогою різноманітних підходів (організаційних, технічних, хімічних та біологічних) залишається важливою, незважаючи на численні наукові дослідження в цій галузі.

Процес вітрової ерозії поверхонь хвостосховищ є фізичним явищем, що формується під впливом як внутрішніх факторів (характеристики хвостів, рельєф поверхні тощо), так і зовнішніх умов. Факторами, що впливають на процес здимання пилу хвостів є [7]:

- вітер (швидкість, сила, напрямок);
- вологість повітря та матеріалу;
- гранулометричний склад хвостів.

Вітер є одним із головних факторів, що визначають процес перенесення пилових частинок хвостів. Інтенсивність пиловиділення, траєкторія руху та дальність поширення пилу залежать від швидкості повітряного потоку.

Піщані пиловаті частинки хвостосховищ під впливом вітру здатні приходити в рух. За швидкості вітру від 4,5 до 6,7 м/сек на висоті 0,1 м від поверхні відбувається рух частинок до 0,25 мм в діаметрі. За швидкості від 6,7 до 8,4 м/сек розпочинають рухатись частинки діаметром до 0,5 мм, а піщинки діаметром від 1 до 1,5 мм починають рухатись за швидкості вітру коло поверхні хвостосховища 10-13 м/сек. Утворення пилу на хвостосховищах спостерігається вже при швидкості вітру на поверхні 4 м/сек. При сухій погоді піщинки хвостосховищ приходять в рух навіть за нижчої швидкості вітру [8].

З вологої поверхні хвостосховища пиління піщаної поверхні не спостерігається.

Фактором, що впливає на процес здимання пилу хвостів, також є вологість повітря та матеріалу. Аутогезія малих частинок, що має вплив на ерозію, при вологості повітря понад 70% збільшується. Однак при низькій вологості повітря вона зменшується [9].

У літній період, коли температура повітря висока, а вологість низька, зневоднена поверхня хвостосховища перетворюється на активне джерело пиловиділення. Натомість взимку більшість поверхні хвостосховища замерзає, що значно зменшує вітрову ерозію.

Також значний вплив можуть мати такі фактори, як фракційний та мінеральний склад хвостів (таблиці 1.1-1.2) [7].

Таблиця 1.1 – Гранулометричний склад хвостів [7]

Розмір частинок, мкм %						
100-500	500-250	250-50	50-10	10-5	5-1	Менше 1
0,5	0,5	5,2	78,4	4,1	6,1	4,8

Таблиця 1.2 – Фракція хвостів сухих пляжів [7]

Розмір частинок, мкм %								
50-40	40-25	25-16	16-10	10-6,3	6,3-4	4-2,5	2,5-1,6	0-1,6
26,48	40-25	25-16	16-10	10-6,3	6,3-4	4-2,5	2,5-1,6	0,53

Кліматичні умови Кривбасу визначаються розташуванням його в степовій зоні. Клімат району помірно-континентальний. Літо жарке, сухе, вітряне. Зима м'яка, нестійка, в більшості малосніжна, з частими відлигами, що спричиняють підняття рівня води, туманами. При цьому в останній час середньорічна температура в регіоні постійно підвищується, що пов'язано із загальним потеплінням. На інтенсивність виносу пилу при складуванні відходів збагачення суттєво впливає температура повітря, його вологість, швидкість вітру та кількість опадів. Дані за метеорологічними параметрами показано в таблицях 1.3-1.5 [7].

Як видно з таблиці, середньорічна температура повітря складає 8,5°С, швидкість вітру - 5 м/с, загальна кількість опадів за рік становить 440 мм. Метеорологічні коефіцієнти, що визначають розсіювання пи-

лових частинок в атмосферному повітрі, для Кривого Рогу наведено в таблиці 1.4 [7].

Таблиця 1.3 – Характеристика середніх значень метеорологічних параметрів [7]

Показники	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура повітря, °С	-5,0	-4,4	0,8	8,6	15,7	19,4	22	24,1	15,6	8,8	2,2	-2,8
Кількість опадів, мм	27	30	28	32	46	69	44	33	26	35	33	37
Швидкість вітру, м/с	5,6	5,9	5,8	5,3	5,0	4,4	4,1	4,1	4,2	4,6	5,2	5,6

Таблиця 1.4 – Метеорологічні коефіцієнти, що впливають на розсіювання забруднюючих речовин [7]

Назва	Величина
Коефіцієнт, що враховує стратифікацію атмосфери, А	200
Коефіцієнт рельєфу місцевості	1,0
Середня максимальна температура повітря найтеплішого місяця (липень)	27,2
Середня мінімальна температура повітря найхолоднішого місяця (січень)	-5,0
Середня роза вітрів, %	
- північний	15,4
- північно-східний	16,1
- східний	15,2
- південно-східний	10,3
- південний	9,8
- південно-західний	10,3
- західний	11,5
- північно-західний	11,4
Швидкість вітру, повторюваність перевищення якої складає 5%, м/с	10÷11

Щорічно реєструється в середньому 29 днів із сильними вітрами (швидкість понад 15 м/с). Сніговий покрив є нестійким, а середня висота

снігового шару в межах декади коливається від 2 до 7 см. Середньорічна глибина промерзання за обґрунтуванням становить 0,9 м, Максимальна глибина промерзання досягає 1,15 м [7]. Випаровування є числом елементів теплового та вітрового балансу поверхні. Дані про річний хід середніх показників випаровування з суші були отримані за результатами метеорологічних спостережень у Кривому Розі, а випаровування з водних поверхонь вимірювалося за допомогою наземних випаровувачів типу ГПІ-3000 на Карачунах, поблизу Кривого Рогу. Середньомісячні та річні величини випаровування наведено в таблиці 1.5 [7].

Таблиця 1.5 – Інтенсивність випаровування вологи [7]

Випаровування,мм	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
З поверхні суші	13	36	66	76	82	74	61	47	31	9	2	13
З поверхні води	-	-	-	-	140	167	189	173	124	58	-	-

В умовах хвостосховища необхідно застосовувати ефективні засоби з тривалим часом дії, здатні ефективно закріплювати поверхні пилоутворення в усіх діапазонах температур, шляхом створенням захисного шару спеціальними закріплюючими розчинами.

1.3 Методи закріплення сухих поверхонь хвостосховищ

Для боротьби з пилінням на промислових підприємствах в залежності від конкретних умов і пори року застосовуються спеціальні заходи, які можна розділити на організаційні, технічні, хімічні та біологічні [10].

Організаційні методи направлені на оптимізацію виробничих процесів, пов'язаних з режимом ведення робіт.

Технічні методи передбачають застосування технічних засобів, що сприяють зниженню пилоутворення з сухих поверхонь.

Хімічні методи передбачають застосування різних хімічних речовин, які утворюють захисний шар на поверхні, запобігаючи винесенню пилу.

Біологічні методи включають використання рослинного покриву для природного закріплення пилових поверхонь.

Вибір закріплювача залежить від фізико-хімічних властивостей ерозійно-небезпечної поверхні, тривалості її існування, метеорологічних умов сезону [6].

1.4 Організаційні заходи зниження пиління сухих поверхонь хвостосховищ

Після намиву карти у зонах випуску хвостової пульпи на хвостосховищах утворюються сухі ділянки, котрі виступають над водною поверхнею. Такі карти вже не можуть зволожуватися при намиванні, тому стають суттєвими джерелами утворення пилу. Застосування організаційних заходів може сприяти зменшенню пиління.

До організаційних заходів можна віднести [11]:

- підтримання проектного рівня води у відстійному ставку хвостосховища та ставку оборотного водопостачання;
- максимальне покриття поверхні пляжів хвостосховища водою;
- рівномірне замивання карт;
- кріплення дамб, ділянок технологічних доріг, укосів дамб скельними породами.

Розглянемо один з таких заходів як покриття сухих карт скельними породами (рис.1.1) [11].

1.5 Технічні заходи зниження пиління сухих поверхонь хвостосховищ

Запобігти винесенню пилу із сухих поверхонь хвостосховищ можна шляхом підтримки певного постійного рівня води над поверхнею хвостосховища, що складається, або періодично її зволожуючи.

За для забезпечення необхідної вологості поверхні, при якій винесення пилу не буде спостерігатися можливе застосування спринклерної системи.

Спринклерна система призначена для зниження пиління на поверхнях хвостосховищ шляхом рівномірного зрошення ділянок водою. Система ефективно працює при позитивних температурах, забезпечуючи вологість поверхневого шару, що перешкоджає підняттю пилу в атмосферу.

Принцип спринклерної системи відбувається в рівномірному розподілі води для зволоження або зрошення поверхні за допомогою спеціальних розпилювачів – спринклерів. Система складається з кількох основних елементів [12]:

- 1) джерело водопостачання (насос або водопровід, який подає воду під тиском до системи);

- 2) трубопровідна мережа – система труб, по якій вода рухається до спринклерів. Вона може бути підземною або розташована на поверхні землі в залежності від конструкції;

- 3) розпилювачі (спринклери) - пристрої, які розподіляють воду через форсунки, утворюючи дрібні краплі, що рівномірно покривають поверхню.

Система спринклерів працює за рахунок тиску води, яка через спеціальні насадки (сопла) змушує її розпилюватися на дрібні краплі. Стандартно вода подається під тиском, що дозволяє забезпечити ефективне збільшення великої площі. Спринклери можуть бути авто-

матичними або працювати вручну, із швидкими режимами роботи залежно від потреби [13].

Система спринклерів для зрошування хвостосховищ має кілька потенційних недоліків, які можуть виникнути в умовах низьких температур, вітру чи при неефективній експлуатації, зокрема [12]:

1) зниження температури нижче нуля може призвести до замерзання води в системі, що призведе до пошкодження трубопроводів та форсунок. Для уникнення замерзання системи можна використовувати антифризні суміші або ж системи з обігрівом трубопроводів, можна використовувати спеціальні інтервали для запуску спринклерів, коли температура піднімається вище нуля;

2) вітер може впливати на напрямок та ефективність розподілу води, що призведе до нерівномірного зрошення. Щоб запобігти цього можливо використовувати спринклерні системи, що мають можливість регулювання напрямку та висоти розпилення;

3) з часом у соплах можуть накопичуватися забруднення (пил, мінеральні відкладення, частки хвостових матеріалів), що може призвести до їх забивання і зменшення ефективності зрошення.

- рішення проблеми: Виконуючи регулярне технічне обслуговування системи можна цьому запобігти.

До переваг використання спринклерної системи можна віднести:

- ефективне та рівномірне зволоження сухих поверхонь карт;
- автоматизоване керування роботою системи;
- гнучке регулювання інтенсивності зрошення карт залежно від умов.

1.6 Закріплення поверхонь сухих поверхонь хвостосховищ хімічними речовинами

Одним із методів боротьби з пилом на зневоднених ділянках діючих хвостосховищ є закріплення їх поверхні за допомогою в'язких або структуроутворюючих речовин: неорганічних, органічних, природних, синтетичних полімерів і комбінованих. При нанесенні таких речовин на поверхні утворюється тонка плівка або кірка, яка перешкоджає здуванню пилу [14].

Неорганічні в'язучі речовини для стабілізації поверхні техногенних масивів (глінізація, вапнування і цементація) неефективні, оскільки мають малу водоерозіону стійкість і міцність закріпленої поверхні.

Закріплення органічними матеріалами хвостосховищ (емульсії на основі нафтопродуктів, продуктів переробки горючих сланців, нафта, відходи целюлозно-паперової, деревообробної промисловості) в утворенні водостійкої та вітростійкої кірки.

Найбільш використовуваним є спосіб закріплення поверхонь відвалів та хвостосховищ бітумними емульсіями [14]. Бітумні матеріали ефективно зв'язують пил та створюють надійну захисну плівку, що запобігає вітровій ерозії [8]. Вони легко наносяться, але можуть вимагати повторного застосування залежно від погодних умов. Використання бітумних емульсій є ефективним методом закріплення поверхні хвостосховищ, проте вимагає значних витрат на матеріали та транспорт.

Метод закріплення пісків полягає в застосуванні бітумної емульсії для обробки їх поверхні з метою цементації. Процес включає нанесення бітумної емульсії на хвостосховище, на яке попередньо висівають насіння, наприклад, озимого жита. Після нанесення емульсії вода швидко випаровується, що призводить до формування тонкого бітумного шару на піску. Частинки бітуму утримуються на поверхні піску та склеюють окремі піщинки, створюючи міцну зцементовану структуру [15].

Бітумні емульсії представляють собою дисперсні системи з дрібними частинками бітуму до 10 мікрон у діаметрі, які не злипаються завдяки наявності емульгатора у складі. Емульгатори можуть бути молекулярними, колоїдними або грубо дисперсними системами, які утворюють навколо частинок бітуму захисний шар, запобігаючи їх злипанню [8].

Процес формування стійкої емульсії полягає у створенні навколо частинок бітуму захисного шару з молекул емульгатора. Основним чинником, що запобігає злипанню частинок, є не сам емульгатор, а гідратні оболонки, які утворюються навколо нього. Ці оболонки, що складаються з молекул емульгатора та впорядкованих навколо них молекул води, перешкоджають агломерації бітумних частинок. Для забезпечення стабільності емульсії перед використанням бітум нагрівають до 140°C, що дозволяє зберегти його властивості та забезпечити оптимальну в'язкість. У результаті цього формується ущільнений піщаний шар, який захищає поверхню від розпилення [8].

Для закріплення в промислових умовах рекомендовано бітумну емульсію 20% концентрації з витратами 1,1-1,2 л/м², а для закріплення укосів дамб та гребель, намитих з хвостів – емульсію 30% концентрації з витратами 1,5 л/м². У бак поливальної автомашини заливають 20% бітумну емульсію, яка повільно розбавляється на місці виконання робіт та наноситься на поверхню що пилить гідромонітором зрошувальної машини на базі автосамоскиду КРАЗ-222. За добу утворюється тонка плівка, яка заважає здійнятися пилу протягом 10-12 місяців [16, 17].

Дослідження [6, 17] плівок з бітумної емульсії показали, якщо наявними є порушення (розриви), з яких можуть видуватися часточки ґрунту, то руйнування відбувається при швидкості вітру 5 м/с та більше. У зв'язку з цим зазначені поверхні мають бути закріплені повторно. Проте, у зв'язку з достатньо високою вартістю бітумної емульсії, відсутністю доступної сировини (вітчизняних бітумів) та необхідністю попередньої підготовки, її використання наразі ускладнено [6, 8].

Полімери займають особливе місце серед нових структуроутворюючих речовин. Вміст у них у достатній кількості рухомих іонів заліза, кальцію,магнію,марганцю та алюмінію сприяє встановленню міцних зв'язків з функціональними групами полімерів. Полімери покривають поверхні хвостів і відвалів плівкою, що складається з полімолекулярних шарів [14].

Акрилати, полівінілацетати та полівінілхлорати синтетичних полімерних емульсій можуть бути використані для боротьби з пилом. Ця група емульсій виготовляється шляхом полімеризації мономерів у водному середовищі. Механізм їх дії заснований на кінетиці випаровування, де видалення води призводить до переходу з пластівців у плівку в результаті коалесценції. Вміст твердих речовин 40-60% за масою відповідає за інкапсуляцію частинок і формування зв'язувальної мережі, що склеює зерна ґрунту. На додаток до придушення пилу, ці емульсії можуть забезпечити покращення міцності, водночас створюючи стійку до погодних умов поверхню. У випадках норми внесення 1,27 л/м² ущільнювача верхнього розпилення призвели до значення проникнення 25-38 мм. На практиці легке нанесення з хорошою ефективністю, збільшення міцності матеріалу на зсув, стійка ефективність захисту від пилу з помірною адаптованістю до вологих умов є одними з переваг синтетичних полімерних емульсій. Обмеження включають сприйнятливність до окислювального старіння кірки, яка утворюється на поверхні під час тривалого впливу УФ-променів, що призводить до погіршення, і вони, як правило, є дорогими через дефіцит сировини та виробничих процесів для їх синтезу [18].

На ряду з полімерами використовують закріплення поверхонь латексом. При взаємодії між його функціональними групами та пиловими частинками виникають водневі зв'язки, за рахунок яких пилові частинки зв'язуються у більші агрегати [14]. Водневі зв'язки надають їм стійкість до вітрової та водної ерозії. Витрати латексу для обробки поверхонь

становлять 1 л/м², при концентрації 4 %. Рівномірно нанесений на поверхню латекс, через 10–15 діб утворює щільний еластичний шар, що має механічну міцність 1,2–1,4 МПа [19].

1.7 Біологічні методи закріплення поверхонь сухих поверхонь хвостосховищ

Біологічні методи включають себе висадку рослинності на поверхні хвостосховищ. Рослинний покрив не лише зменшує пилоутворення, але й сприяє відновленню екосистеми. Недоліком є необхідність значних витрат на підтримку рослинності та тривалий період її росту.

Одним з елементів біологічних методів є біологічна рекультивация, яку використовують для вирішення проблеми винесення пилу за рахунок формування на зовнішніх укосах дамби хвостосховища рослинного покриву, який буде зменшувати швидкість вітру та затримувати пилові частинки, не дозволяючи їм розноситись на порівняно великі відстані від хвостосховища.

Озимі культури, такі як озиме жито і озиме тритикале, є оптимальним вибором для рекультивации хвостосховищ залізорудних шламів через їх високу стійкість до умов навколишнього середовища. Ці культури можуть ефективно використовувати обмежені ресурси продуктивної вологи, що накопичуються у шламах, особливо взимку і весняний період.

Озиме жито і тритикале озиме належать до порівняно посухостійких рослин, що пов'язано з могутнішою і глибшою, чим у інших зернових культур, кореневою системою [6].

Озиме жито і тритикале мають добре розвинену кореневу систему (озиме жито – стрижневу, тритикале – мичкувату), яка глибоко проникає в ґрунт і забезпечує їм стійкість до змін рівня вологості.

Це дозволяє їм ефективно зберігати ґрунтову вологу й захищати хвостосховища від ерозії вітром і водою. Висока морозостійкість озимого жита і тритикале дозволяє їм витримувати низькі температури і швидко відновлюватись після морозів, що є важливим для успішного росту в умовах північного клімату.

Ці культури також відомі своєю низькою вимогливістю до ґрунтової родючості і високою здатністю адаптуватись до різних типів ґрунтів, включаючи бідні ґрунти, де інші зернові культури можуть виявляти меншу продуктивність. Використання озимого жита і тритикале для рекультивації дозволяє не лише зберегти ґрунт і запобігти його ерозії, а й вирощувати цінні сільськогосподарські культури, що мають високу цінність у сільському господарстві (наприклад рапс).

Засівання травами є екологічним методом, що сприяє зменшенню пилоутворення та відновленню екосистеми, проте вимагає значних витрат на підтримку рослинного покриву.

Одним із поширених шляхів підготовки хвостосховищ до проведення на них біологічної рекультивації є мульчування їх поверхні. Мульчування є одним з популярних методів стабілізації поверхні поверхонь, що пилять. Для цього поверхня хвостосховища покривається такими органічними речовинами рослинного походження як солома, сіно, тирса, кора дерев та інші [20].

Мульчування сприяє росту рослин, покращуючи умови проростання насіння та забезпечуючи захист молодих сходів. Тому для зміцнення та стабілізації поверхні хвостосховищ використовують мульчу. Ефективність цього методу визначається властивостями конкретного матеріалу та його морфологічними характеристиками.

Деякі органічні речовини є ефективними меліорантами, оскільки покращують водопоглинальну, іонообмінну здатність піщаних хвостосховищ. Загальновідомими речовинами органічного походження для

забезпечення поживного режиму хвостосховищ є тирса, зола, гіпс, зелені добрива, гній, компост, осад стічних вод [8].

Для озеленення схилів укосів дамби хвостосховища доцільно застосовувати мулові осади, отримані в результаті анаеробного очищення стічних вод, які пройшли повне знезараження на спеціальних відкритих мулових майданчиках.

Нанесення мулових осадів на укоси дамби хвостосховища відбувається таким чином [7, 17]:

- після видалення мулових осадів з мулових майданчиків екскаваторами-навантажувачами;
- вони завантажуються в самоскиди й транспортуються до місця нанесення на дамбу;
- там мулові осади розвантажують вздовж верхньої брівки ярусу дамби (рис. 1.3) [7, 17];

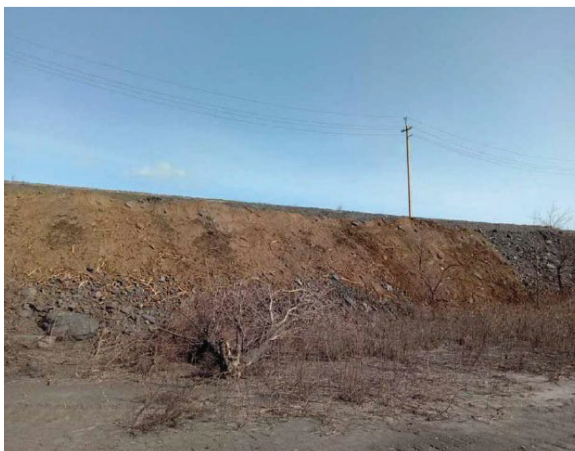


Рисунок 1.3 – Мулові осади на зовнішній частині ярусу хвостосховища [7, 17]

- інші екскаватори-навантажувачі перевантажують осади з берм на укоси дамби, розподіляючи їх рівномірно по поверхні (рис. 1.4 [7,17]).



Рисунок 1.4 – Нанесення мулових осадків [7, 17]

Цей підхід забезпечує ефективне використання мулових осадків, поліпшуючи умови для росту рослинності та зменшуючи ерозію на укосах дамби хвостосховища.

Виходячи з інформації, наведеної вище, можна відзначити, що сухі ділянки на хвостосховищах при сильних поривах вітру є джерелами виділення пилу забруднення атмосферного повітря та прилеглих територій пилом. Кожний з перерахованих засобів може бути реалізований як окремо так і в комплексі з іншими. Вибір і використання засобів і способів має бути обґрунтованим не лише екологічними чи гігієнічними вимогами, а і економічними та організаційними критеріями.

Висновки до розділу 1

1. Пилове забруднення, яке виникає через винос пилу з сухих поверхонь хвостосховищ, є актуальною екологічною проблемою у промислових регіонах. Воно негативно впливає на здоров'я працівників гірничо-збагачувальних комбінатів та мешканців прилеглих територій, викликаючи професійні легеневі захворювання.

2. Основними факторами, що впливають на процес здимання пилу, є швидкість вітру, вологість повітря і гранулометричний склад хвостів. Вітрова ерозія сухих ділянок хвостосховищ є ключовою причиною пилового забруднення.

3. Розглянуто чотири основні напрямки боротьби з пилінням поверхонь сухих карт хвостосховищ: організаційні, технічні, хімічні та біологічні. Серед найбільш ефективних рішень відзначено застосування хімічних реагентів для стабілізації пилових поверхонь, використання спринклерних систем для зволоження сухих ділянок, а також рекультивацію за допомогою покриття рослинності.

4. Визначено основні напрямки подальших досліджень питань боротьби з виносом пилу з поверхонь хвостосховищ.

2 КРАЩІ ПРАКТИКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ МІНІМІЗАЦІЇ ПИЛІННЯ ХВОСТІВ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНИХ РУД З МІСЦЯ ЇХ СКЛАДУВАННЯ

Для зниження негативного впливу заскладованих хвостів збагачення на здоров'я працівників, залучених до будівництва та експлуатації хвостосховищ та хвостового господарства, а також на навколишнє середовище, використовуються різні методи та засоби контролю пиління на хвостосховищах, пилопригнічення на хвостосховищах. Основний підхід полягає у впровадженні спеціальних заходів, що забезпечують закріплення сухих поверхонь карт наміву (потенційних місць пиління) діючих хвостосховищ.

2.1 Характеристика хвостосховища ПРАТ «ІНГЗК»

ПРАТ «ІНГЗК» є діючим підприємством з видобутку та збагачення руди та розташоване в межах Криворізького району Дніпропетровської області, на правому березі річки Інгулець за 35 км на південь від міста Кривий Ріг (рис. 2.1) [11].

Існуюча споруда хвостосховища 2-ї черги та Об'єднаного хвостосховища розташована на промисловому майданчику гірничозбагачувального комбінату ПРАТ «ІНГЗК», що діє, на землях Карпівської сільської ради Дніпропетровської області.

Збагачення руди мокрим магнітно-сепараційним способом проводиться на рудозбагачувальній фабриці №1 (РЗФ-1) та рудозбагачувальній фабриці №-2 (РЗФ-2).

Хвости складаються у хвостосховища 2-ї черги та Об'єднане, що створюються поетапним нарощуванням огорожувальних споруд.

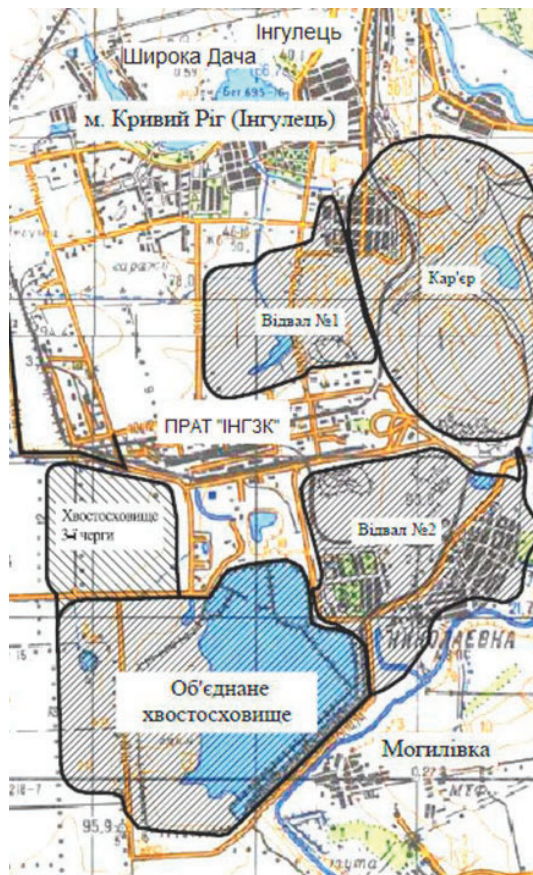


Рисунок 2.1 – План розміщення ПРАТ «ІНГЗК» [11]

У 2018 році за завданням ПРАТ «ІНГЗК» виконано проект «Реконструкція об'єктів хвостового господарства ПРАТ «ІНГЗК» з метою створення об'єднаного хвостосховища, розташованого на землях Карпівської та Андріївської сільських рад у Широківському районі Дніпропетровської області», в якому розглянуто створення ємності для складування відходів виробництва рахунок нарощування огорожувальних споруд існуючих хвостосховищ 1-ї та 2-ї черг вище відм. 147,50 м та створення об'єднаного хвостосховища до позначки 165,00м [11].

В даний час відмітки дамб огорожувальних споруд хвостосховища 2-ї черги становлять 140,00-142,50 м, а по Об'єднаному хвостосховищу (територія хвостосховища 1-ї черги) – 150,00-152,50 м та поетапно дорощується до проектних відміток.

Об'єднане хвостосховище утворено на території існуючих хвостосховищ 1-ї та 2-ї черги, які з відмітки дамби огорожувальних споруд 150,00 м утворюють єдине хвостосховище. Хвостосховище 1-ї черги ПРАТ «ІНГЗК» розташоване в правобережній балці – колишньому закруті річки Інгулець, хвостосховище 2-ї черги – примикає до західної ділянки хвостосховища 1-ї черги. Хвостосховища віддалені на південь від збагачувальних фабрик на відстань до 4,0 км [11].

Хвостосховища 2-ї черги та Об'єданого призначені для складування хвостів збагачення та механічного освітлення оборотної води, що повторно використовується в технологічному циклі комбінату.

Технологія зведення дамби – картовий налив. Хвости доставляються в огорожувальні споруди автотранспортом.

Видалення пульпи, що утворюється після збагачення руди, від збагачувальних фабрик здійснюється за гідротранспортною системою.

Подача пульпи із збагачувальних фабрик РЗФ-1 і РЗФ-2 спочатку здійснюється по самопливних лотках-пульповодах до насосних станцій (рис. 2.2) [11], а далі у хвостосховища проводиться пульпонасосними станціями ПНС-1, ПНС-2 і ПНС-3 по напірних магістральних (з футеруванням) та розподільних пульповодах.

Подача пульпи від ПНС-1 і ПНС-2 I-го підйому проводиться по 16 ниткам напірних пульповодів із сталевих труб $\text{Ø}1220 \times 12$ мм (рис. 2.3) [11].

По закінченню робіт з пилопригнічення начальник зміни інформує заступника начальника ЦТВШГ з виробництва, диспетчера комбінату і ЛОНС про виконання заходів.

Представники ЛОНС, після виконаних ЦТВШГ робіт з пилопригнічення, виконують контрольні заміри вмісту пилу у повітрі для визначення ефективності впроваджених заходів.

2.3 Розгляд методів зниження пиління хвостосховищ

Технологічна послідовність фізико-хімічного закріплення поверхонь хвостосховищ включає комплекс операцій, які виконуються в певній послідовності:

- приготування закріплювача;
- доставка закріплювача до місця нанесення;
- нанесення закріплювача на поверхню.

Вибір закріплювача залежить від фізико-хімічних властивостей ерозійно-небезпечної поверхні, тривалості її існування, метеорологічних умов сезону (температури повітря і сили вітру). На ділянках, які існують нетривалий час, доцільно застосовувати інші дешевші засоби [6].

Одним із способів зменшення пиління на зневоднених ділянках діючих хвостосховищ є обробка їх поверхні спеціальними хімічними реагентами. Сутність методу полягає у тому, що на сухій поверхні за допомогою закріплювачів утворюється тонка плівка, яка заважає винесенню пилу.

Для створення тонких плівок найбільш прийнятним методом виконання робіт є насичення верхнього шару хвостів розчинами в'язучих речовин та структуро-формувальних розчинів. Поверхневим проникненням створюється тонка кірка чи плівка з високим вмістом в'язучої

чи структуро-формувальної речовини і, відповідно, високої міцності при незначних витратах закріплювача. Для цього використовують різні речовини чи їх розчини, проте розглянемо наступні:

- водорозчинний реагент «Лексол»;
- флокулянт «VTA-50»;
- екофіксатор PG 100 (DP);
- хлористий магній (бішофіт, $MgCl_2$).

2.4 Водорозчинний реагент «Лексол»

Антипиловий реагент «Лексол» представляє собою водний розчин гліцеринового компонента рослинного походження, призначений для закріплення ерозійно-небезпечних поверхонь полімінерального складу, які пилять на хвостосховищах, відвалах гірських порід, при транспортуванні сировини в залізничних вагонах [23].

Реагент використовується для захисту довкілля в залізничній, вугільній, будівельній промисловості та енергетиці. Він сприяє боротьбі з пилом завдяки зв'язувальним і гігроскопічним властивостям. Цей реагент придатний для змочування будь-якого сипучого матеріалу або поверхні, здатної утворювати пил при перемішуванні, транспортуванні, обробці та вітровій ерозії. Фізико-хімічні властивості реагенту наведені у табл. 2.1 [23].

Таблиця 2.1 – Фізико-хімічні властивості [23]

Форма продукту	Колір	Температура застосування	pH розчину	Щільність	Розчинність
Рідина	Темно-коричневий	Від +5°C до +35°C	6,5-8,54	1,065-1,1 г/см ³	Повністю розчинний у воді

Завдяки гігроскопічним і в'язучим характеристикам, реагент «Лексол» сприяє зменшенню пиління. Його дія забезпечує ефективне зволоження сипучих матеріалів, що перешкоджає утворенню та розширенню пилу. Цей засіб підходить для обробки поверхонь або матеріалів, які виділяють пил під час транспортування, змішування, обробки чи під впливом вітрових потоків.

Для зменшення пиління реагент «Лексол» розчиняють у пом'якшеному воді, з 5% до 80% від загальної маси розчину. Обсяг витрат реагенту на 1 м² поверхні, що пилить, змінюється в межах від 240 до 1200г залежно від способу нанесення, погодних умов, рівня опадів і температури навколишнього середовища. У літній сезон при мінімальних опадах використовують 3%-й розчин, тоді як у холодну пору року або для підвищеної вологості доцільно використовують 5%-й склад. При розпилюванні на поверхню витрати реагенту становлять 240-300 г/м², а при обробці пилозрошувальним обладнанням кількість може збільшуватися до 500-1200 г/м² [24,25].

Температура транспортування та зберігання реагенту не нижче 0°C. Реагент не повинен перебувати під дією прямих сонячних променів.

В рамках впровадження інноваційних методів зниження пиління на хвостосховищі ПРАТ «ІНГЗК» було проведено дослідження із використання реагенту «Лексол». Обрано ділянку, карта № 9 хвостосховища 1-ї черги, площею 4га (рис. 2.4) [11].

На поверхню експериментальної ділянки наносився водний розчин «Лексол» з витратою 2,0-2,5 літри на 1м² досліджуваної поверхні, шляхом його розпилення за допомогою поливальної машини. В якості засобу для доставки і нанесення реагенту на поверхню була обрана поливальна установка на базі автомобіля БелАЗ з цистерною місткістю 30 м³, обладнану насосом та гідромонітором.

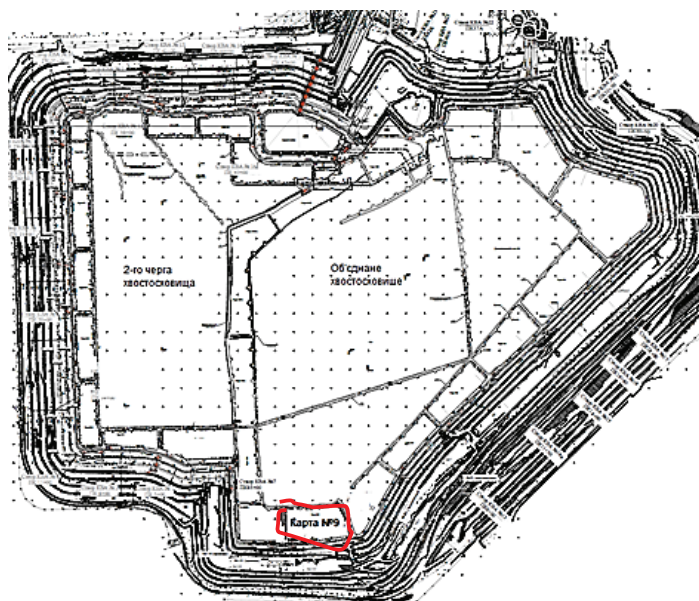


Рисунок 2.4 – Карта №9 хвостосховища [11]

Водний розчин «Лексол» готується на підготовленій ділянці в безпосередній близькості від карти хвостосховища № 9 (у відведеному для цього місці).

Заливка розчину в поливальну установку виконується з подальшим його розбавленням водою до концентрації 5% по сухому залишку. Цистерна повинна бути заповнена не більш ніж на 2/3 від свого об'єму для повного перемішування. Розбавлення «Лексол» до необхідної концентрації відбувається самовільно, при транспортуванні реагенту до місця нанесення [25].

Подача розчину з цистерни автомобіля здійснюється насосом через форсунки під тиском, що забезпечує рівномірне розпилювання реагенту по поверхні карти хвостосховища.

Після нанесення реагенту «Лексол» на поверхню хвостосховища протягом наступних 30 днів проводиться регулярний моніторинг ефективності його застосування. Вивчення ефективності відбувається шляхом спостереження за рівнем пиловиділення, що дозволяє оцінити тривалість дії реагенту та необхідність повторного нанесення.

Через 1, 2, 3 дні:

- спостерігається перше зниження рівня пиління;
- пилові частки, що злиплися, поступово залишаються на місці, не піддаються вітру та сухому повітрю;

Через 7 днів:

- реагент продовжує діяти, хоча зменшення ефекту за рахунок випаровування вологи помітне.

Через 10 днів:

- ефект значно зменшується, і потрібне повторне нанесення для підтримання ефективності.

Застосування реагенту забезпечує поступове зниження рівня пиління вже в перші дні після нанесення. Через 3 дні пилові частки злипаються та залишаються на поверхні, що значно зменшує їх рознесення вітром. На 7-й день реагент продовжує діяти, проте ефективність починає знижуватися через випаровування вологи. До 10-го дня ефект суттєво слабшає, що вимагає повторного нанесення для підтримання стабільного рівня пилопригнічення.

2.5 Флокулянт «VTA-50»

«VTA-50» – це аніонний полімерний флокулянт, який належить до групи поверхнево-активних речовин, що застосовуються для зменшення пиління шляхом утворення стабільного покриття. Він діє на основі полімерних сполук, які забезпечують міцне зв'язування пилових частинок і утримують їх на поверхні відкладів. Фізико-хімічні властивості реагенту наведені у табл. 2.2 [26].

Реагент постачається у вигляді сухого порошку, з якого готують робочий розчин для нанесення на оброблювані ділянки. Оптимальна концентрація розчину становить 0,3%, а витрата реагенту для обробки поверхні – 25 г/м². За умови дотримання технологічних вимог гаранто-

ваний термін ефективності обробки становить від 6 до 9 місяців. Для досягнення максимального ефекту реагент використовується у вигляді водного розчину.

Таблиця 2.2 – Фізико-хімічні властивості [26]

Форма продукту	Колір	Температура застосування	pH розчину	Щільність	Розчинність
Порошок	Білий	Від +10°C до +35°C	3	1,02 г/см ³	Розчинний у воді

Обрано ділянку для нанесення реагенту, карта №6а хвостосховища 1-ї черги, площею 3,8га (рис. 2.5) [11].

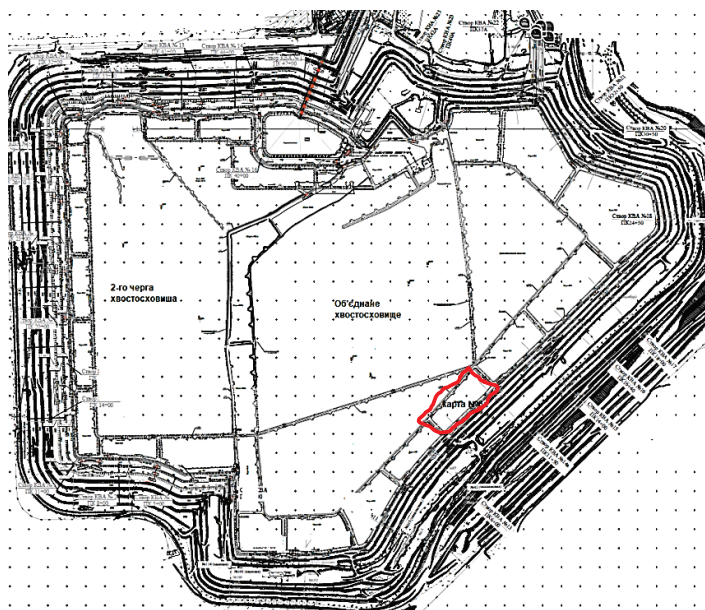


Рисунок 2.5 - Карта №6а хвостосховища [11]

Процес підготовки розчину передбачає наявність джерела води з температурою від +10°C до +35°C та витратою 20 м³/год. Для цього спеціально було додаткового місця заправки поливальної техніки на хвостосховищі 1-ї черги (рис. 2.6). Якість води для приготування розчину має близькою до питної. Воду у кількості 20 м³ подають у підгото-

влени ємність, після чого додають необхідну кількість реагенту VTA 50 для досягнення концентрації 0,3%. Розчин ретельно перемішується протягом 20 хвилин для забезпечення повної однорідності та розчинення порошку [27].



Рисунок 2.6 – Місце заправки поливальної техніки

Нанесення робочого розчину на поверхню хвостосховища виконується за допомогою обладнання для розпилення (поливальні машини, водовозки), що оснащене соплами розміром менше 150 мікрон. Таке обладнання забезпечує рівномірний розподіл реагенту на оброблюваній площі карти хвостосховища.

Транспортування робочого розчину до місця нанесення здійснюється автоцистерною (БелАЗ) з ємністю 20 м³. Обробка виконується на заздалегідь підготовленій ділянці (рис. 2.7).

Після нанесення реагент взаємодіє з дрібнодисперсними частинками пилу та утворює на поверхні стійкий захисний шар, що забезпечує стійкість до вітрової та водної ерозії. Взаємодія реагенту з частинками пилу відбувається одразу після нанесення, у результаті чого утворюється стабільний полімерний шар, стійкий до вітрової та водної ерозії [28].



Рисунок 2.7 – Нанесення реагенту «VTA 50»

Для оцінки ефективності «VTA-50» на хвостосховищі проводиться регулярний моніторинг стану поверхні та рівня пилопригнічення через певні проміжки часу після нанесення.

Через 1, 2, 3 дні:

- спостерігається зменшення пилопригнічення;
- реагент забезпечує утримання вологи, що дозволяє утримувати пилові частинки на місці.

Через 14 днів:

- стабільний ефект зменшення пиління;
- у разі відсутності сильних дощів і вітрів ефект стабільно зберігається, і поверхня не покривається пилом.

Через 30 днів:

- після 30 днів спостерігається незначне зниження ефективності;
- у випадку повторного нанесення на оброблені ділянки «VTA-50» ефект знову відновлюється.

Використання цього реагенту дозволяє підтримувати низький рівень пилу протягом тривалого часу, що особливо важливо в умовах сухого клімату або сильних вітрів.

2.6 Застосування екофіксатора PG 100 (DP)

Екофіксатор PG 100 (DP) є інноваційним засобом для зниження пиління на хвостосховищах, який застосовується для стабілізації поверхні відкладів і запобігання утворенню пилу. Цей продукт забезпечує утворення багат шарового покриття, що включає біополімери, коркоутворювачі, а також природні рослинні компоненти. Використання екофіксатора дозволяє значно знизити рівень пиління та підвищити ефективність боротьби з ерозією в умовах хвостосховищ.

Екофіксатор PG 100 (DP) є біорозкладним продуктом, виготовленим на основі біополімерів і мінеральних добавок, що використовуються в сільському господарстві. Він здатен створювати трирівневе покриття на поверхні хвостосховища, що включає:

- на поверхні: біополімери та коркообразувачі, які утворюють тонку плівку, що утримує пилові частки;
- над поверхнею: стеблова частина рослин, що забезпечує механічне зміцнення поверхні;
- в об'ємі: коренева частина рослин, що сприяє довготривалому утриманню пилу завдяки корінню, яке зміцнює землю.

Фізико-хімічні властивості реагенту наведені у табл. 2.3 [29].

Таблиця 2.3 – Фізико-хімічні властивості [29]

Форма продукту	Колір	Температура застосування	pH розчину	Щільність	Розчинність
Рідина	Коричневий	Від 5°C до +35°C	7-9	1,02 г/см ³	Частково розчинний у воді

Застосування екофіксатора PG 100 (DP) має низку суттєвих переваг, що роблять його ефективним рішенням для закріплення поверхонь хвостосховищ та боротьби з пилінням. Продукт вирізняється зру-

чністю у використанні завдяки простому нанесенню та швидкій реакції на різні погодні умови. Однією з ключових особливостей є його здатність стимулювати проростання насіння, що сприяє відновленню рослинного покриву та подальшій стабілізації ґрунту.

Екофіксатор ефективно запобігає ерозії та змиву насіння, підвищуючи стійкість поверхні під час дощів та забезпечуючи стабільність хвостосховищ. Застосування PG 100 (DP) допомагає знизити негативний вплив на природне навколишнє середовище, адже завдяки зменшенню пиління покращується якість повітря та знижується ризик для здоров'я людей і екології регіону. Продукт створює полімерну плівку, яка закріплює поверхневий шар сухих хвостів і перешкоджає їх подальшій ерозії.

Переваги екофіксатора PG 100 (DP) базуються на трирівневій технології пилопригнічення, що забезпечує ефективність як на відкритих ділянках, так і на складних ландшафтах, включно зі схилами, хиткими ґрунтами та нерівною поверхнею. Важливою є можливість приготування робочих сумішей безпосередньо на місці проведення робіт, що спрощує процес нанесення та знижує витрати на підготовку. Завдяки простоті технології використання не потребується складного обладнання, що в поєднанні з конкурентною вартістю робить PG 100 (DP) доступним та вигідним рішенням [30].

Окрім фіксації пилу, екофіксатор забезпечує закріплення насіння на місці його засіву, підвищує вологоутримувальні властивості ґрунту та живить рослини необхідними поживними речовинами для швидкого росту. Коренева система пророслих рослин допомагає утримувати вологу та додатково стабілізує поверхню, знижуючи ризик ерозії. Продукт є повністю біорозкладним, що підвищує його екологічну безпеку та робить його використання оптимальним для довгострокових проєктів із мінімізації пиління.

Для приготування робочого розчину екофіксатора PG 100 (DP) необхідно змішати 1000 кг/га екофіксатора з 300 кг/га мульчі та 200 кг/га насіння (наприклад жито та чорну гірчицю). Ці компоненти додаються в 10 м³ води. Важливо досягти однорідної суміші, щоб забезпечити рівномірне нанесення всіх компонентів на поверхню хвостосховища [29].

Нанесення робочого розчину здійснюється методом гідропосіву, який передбачає використання спеціалізованих машин і обладнання для рівномірного розподілу розчину на поверхні хвостосховища

Процес нанесення екофіксатора PG-100 здійснюється за допомогою спеціалізованої техніки, яка забезпечує транспортування, розподілення та нанесення розчину на поверхню хвостосховища. До основного обладнання належать:

1) поливозрошувальні машини з цистернами (автоцистерни). Це основне обладнання для транспортування і подачі екофіксатора на хвостосховища. Зазвичай ці машини мають цистерни об'ємом до 20 м³, що дозволяє працювати з великими площами. Вони оснащені насосами, які подають розчин під тиском, що забезпечує рівномірне покриття поверхні (рис. 2.8) [29];



Рисунок 2.8 – Поливозрошувальні машини для нанесення [29]

2) гідропосівні машини (гідросівби). Ці машини спеціалізовані для нанесення робочого розчину у поєднанні з мульчею та насінням. Вони забезпечують рівномірне розпилення розчину на великих площах завдяки потужним розпилювальним форсункам. Гідросівалки можуть обробляти ділянки різної складності, включно зі схилами та рельєфами, що ускладнюють доступ;

3) гнучкі шланги та гідромонітори. Для точного нанесення на круті схили, важкодоступні ділянки або локальні проблемні зони використовуються гнучкі шланги та гідромонітори. Гідромонітори дозволяють подавати розчин на відстань до 15 метрів, що забезпечує ефективну обробку навіть найскладніших ділянок.

Процес нанесення включає кілька послідовних етапів:

1) підготовка техніки та розчину:

- усі компоненти (екофіксатор, мульча, насіння, вода) завантажуються у спеціалізовані ємності для змішування;
- поливозрошувальні машини або гідросівалки забезпечують однорідне перемішування суміші до потрібної консистенції.

2) доставка розчину до місця нанесення:

- поливозрошувальні машини з готовим розчином під'їжджають до оброблюваної ділянки хвостосховища.

3) розподілення розчину:

- під час роботи насоси подають розчин під тиском на оброблювану площу (рис. 2.9) [29];
- гідросівалки забезпечують рівномірне нанесення розчину на горизонтальні поверхні;
- для крутих схилів та важкодоступних ділянок підключаються гнучкі шланги або гідромонітори, які дозволяють точно регулювати напрямок та інтенсивність подачі розчину.



Рисунок 2.9 – Закріплення поверхні екофіксатором PG-100 [29]

4) мульчування:

- у процесі нанесення мульча утворює на поверхні захисний шар, який допомагає зменшити випаровування вологи та додатково утримує пилові частки.

5) завершальний етап:

- обробка триває до досягнення рівномірного покриття всієї площі, що потребує стабілізації;

- після нанесення розчину поверхню залишають для висихання. Протягом кількох годин екофіксатор формує міцну плівку, що зв'язує пилові частинки.

Для оцінки ефективності застосування екофіксатора PG 100 (DP) на хвостосховищах проводяться спостереження за кілька етапів після нанесення продукту. Спостереження дозволяють оцінити ефективність утримання пилу, стабільність поверхні та загальний вплив на екологічну ситуацію. Протягом перших днів після нанесення важливо стежити за тим, як реагує поверхня хвостосховища на зміну погодних умов і взаємодію з реагентом.

Через 1 день:

- після нанесення екофіксатора і мульчування протягом перших 24 годин не спостерігається значного пиління навіть при помірних віт-

рових умовах. Це свідчить про те, що поверхня починає стабілізуватися завдяки створеній плівці з біополімерів та інших компонентів;

Через 3-5 діб:

- протягом перших кількох днів поверхня виглядає злегка вологою, але поступово починає висихати. Екологічний ефект проявляється в утриманні пилу на поверхні та зменшенні його підняття в атмосферу.

Через 14 діб:

- після двох тижнів спостерігається значне укріплення поверхні хвостосховища, завдяки розвитку рослин, які проросли з насіння, що було посіяне разом з екофіксатором. Вітрові умови не викликають значного підняття пилу, і поверхня виглядає стабільною. Однак можуть бути незначні пошкодження в місцях з високою активністю вітрів, що свідчить про необхідність додаткової обробки.

Через 30 діб:

- через місяць після нанесення екофіксатора та мульчування, поверхня хвостосховища демонструє високий рівень стабільності. Рослини, які проросли, починають ефективно утримувати частки пилу та інші матеріали на поверхні, що мінімізує їх підняття під час сильних поривів вітру. Загальна екологічна ситуація значно покращується, зменшується пиління, що позитивно впливає на здоров'я працівників та навколишнє середовище.

До особливостей та переваг нанесення екофіксатора PG 100 (DP) на хвостосховища можна віднести [29]:

- тришаровий ефект, при якому екофіксатор утворює плівку, мульча створює каркас, а рослинність закріплює поверхню корінням;
- універсальність, що дозволяє застосовувати метод на ділянках будь-якої складності;
- тривала дія, оскільки природний рослинний покрив забезпечує довгострокову стабільність поверхні.

Таким чином, технологія гідропосіву із застосуванням екофіксатора PG-100 є надійним та інноваційним методом для боротьби з пилінням на хвостосховищах. Вона поєднує у собі швидке закріплення пилу та формування стійкого покриття, що забезпечує довготривалий екологічний ефект.

2.7 Закріплення поверхонь що пилять водним розчином природнього бішофіту

Хвостосховища, які використовуються для складування відходів збагачення, є джерелами пилу через висихання поверхні та вітрову ерозію. Аналогічна проблема спостерігається на промислових автодорогах, особливо при високих навантаженнях та інтенсивному русі транспорту. Відсутність вологозв'язуючих матеріалів сприяє збільшенню концентрації пилу в повітрі, що становить значну загрозу для здоров'я людей.

Використання природнього бішофіту як пилозв'язуючого засобу є перспективним рішенням для зменшення пиління.

Для обробки хвостосховищ використовується розчин бішофіту з концентрацією 25–30%. Приготування здійснюється у спеціалізованих ємностях, оснащених механічними або гідравлічними перемішувачами.

Розчин природнього бішофіту (РПБ) має маслянисту структуру, є високо-гігроскопічною речовиною та погано випаровується. Завдяки цьому він зв'язує пил та підтримує постійну високу вологість верхнього шару пилових часток хвостосховища. Фізико-хімічні властивості наведено у таблиці 2.4 [7].

Таблиця 2.4 – Фізико-хімічні властивості [7]

Форма продукту	Колір	Температура застосування	pH розчину	Щільність	Розчинність
Масляниста рідина	Світло-жовтий або коричневий	Від -30°C до +55°C	-	1,25 г/см ³	Добре розчинний у воді

Нанесення розчину природнього бішофіту на поверхні з яких відбувається винос пилу, здійснюється шляхом його розбризкування за допомогою автомашин (поливальні машини, гідромонітора на базі БелАЗ-7648).

РПБ отримують у готовому вигляді і додаткова підготовка перед його використанням відсутня. Щільність РПБ повинна бути не менше 1250 кг/м³. Цей розчин має 4-й клас небезпеки, не горить, має порівняно низьку корозійну здатність [31].

РБП може наноситися як на суху так і на вологу поверхню. Витрати бішофіту для нанесення на вологий матеріал повинні бути не менше 1 кг/м³, а при нанесення на суху поверхню – не менше 1,5 л/м³, при температурах навколишнього середовища -30 +55°C.

При нанесення РПБ на суху поверхню краплі повинні падати зі швидкістю не менше 15-20 м/с.

Для попереднього змочування поверхні може використовуватися вода із хвостосховищ. При цьому витрати води для зволоження сухих поверхонь повинна становити до 1,0 л/м². При температурах повітря менше 0 °C, попереднє використання води не проводиться. Наносити бішофіт на сніг – не рекомендується.

Технологія закріплення поверхні хвостосховища заснована на підтримці високої постійної вологості верхнього шару пилу, яка забезпечується гігроскопічності РПБ. Закріплювати пилячі поверхні РПБ необхідно перед наступаючою сухою погодою з урахуванням довгострокового прогнозу (рис. 2.10) [32].



Рисунок 2.10 – Загальний вигляд хвостосховища, закріпленого бішофітом [32]

Перед заправкою автомашини БелАЗ-7648 розчином бішофіту для попередження накопичення мулистих осадів в ємності і отримання однорідного розчину, необхідності в його перемішування насосом немає, розчин добре перемішується при перекачуванні із залізничних цистерн та під час руху гідромонітору (рис. 2.11) [7].



Рисунок 2.11 – Заправка гідромонітора бішофітом [7]

Змочування пилячих поверхонь розчином бішофіту проводить гідромонітором, встановленим на автомобілях (БелАЗ-7648, МАЗ тощо) що рухаються лише автодорогами. Нанесення розчину відбувається з дамби хвостосховища без заїзду на його поверхню (рис. 2.12 [31]).

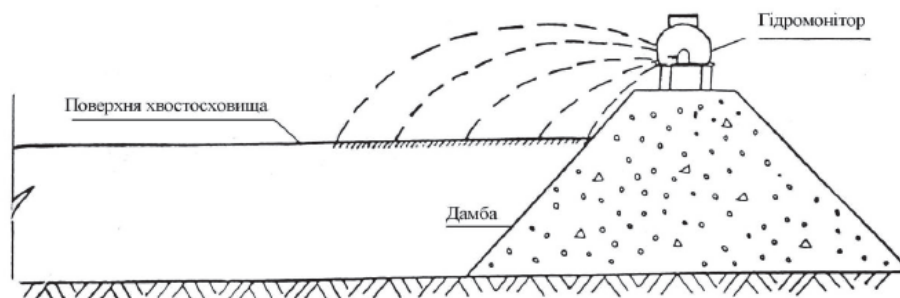


Рисунок 2.12 – Схема закріплення хвостосховища розчином бішофіту [31]

Витрата розчину бішофіту при змочування сухих поверхонь повинна складати не менше $1,5 \text{ л/м}^2$, при змочування вологих поверхонь – не менше $1,0 \text{ л/м}^2$. При повторному змочування поверхні хвостосховища витрати розчину бішофіту становлять $0,5-1,0 \text{ л/м}^2$ [31-34].

Нанесення розчину на поверхню автодоріг (рис. 2.13, 2.14 [31-33]) виконується з використанням тих самих гідромоніторів. Для збільшення ефекту проникнення розчину в матеріал дороги, перед нанесенням бішофіту рекомендується обробити дорогу технічною водою з витратами $2,5 \text{ л/м}^2$ [31-34].

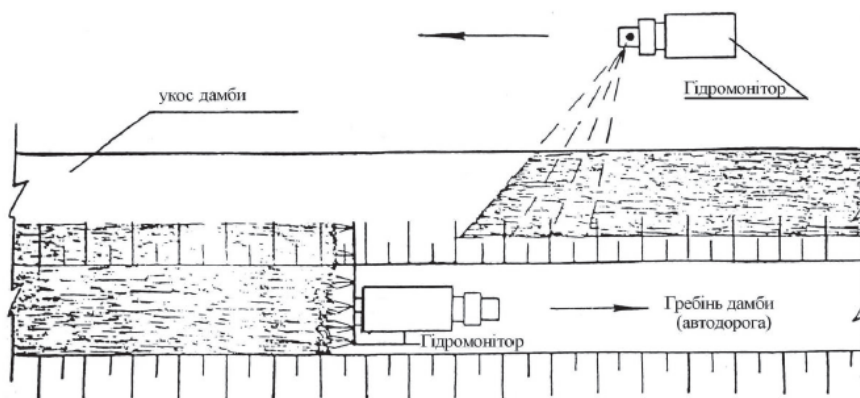


Рисунок 2.13 – Закріплення автодоріг і укосів дамб [31-34]



Рисунок 2.14 – Нанесення бішофіту на поверхню автодороги [31-34]

Поливальна машина з гідромонітором має рухатися з урахуванням напрямку вітру для якісного нанесення розчину на суху поверхню (рис. 2.15 [31-34]).



Рисунок 2.15 – Нанесення розчину на поверхню хвостосховища [31-34]

Виконання усіх робіт потребує додержання певних правил з охорони праці [33]:

- при заповнених ємностях та під час роботи гідромоніторів забороняється ремонт трубопроводів, засувок, розпилювачів та їх самостійне очищення;

- водний розчин бішофіту має 4-й клас небезпеки і його дозволено використовувати в якості бальнеологічного та протизапального засобу для зовнішнього застосування наказами МОЗ СРСР (№306 від 18.03.85р. та №778 від 24.10.88р) та Міністерства охорони здоров'я України (протокол №4 фармалокічного комітету від 24.10.1995р.) мається токсикоз-гігієнічний паспорт на водний розчин бішофіту, де дозволено використовувати його в якості в'язучого матеріалу;

- при роботі з водним розчином бішофіту персонал повинен бути вдягнутий у спецодяг;

- при потраплянні на шкіру або слизову оболонку необхідно змити його чистою водою;

- при роботі автотранспорту необхідно дотримуватися Правил дорожнього руху та Єдиних правил безпеки при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом;

- транспортні засоби повинні рухатися тільки по автодорогам дамб, рух по поверхні карт – категорично забороняється.

Застосування бішофіту забезпечує [7]:

- зниження концентрації пилу у повітрі на 60–85%;

- покращення умов праці та життя працівників та мешканців з вітрової ерозії поверхонь хвостосховищ та автодоріг.

Також треба відзначити наступне [7]:

- водний розчин бішофіту є безпечний та ефективний засіб, який може протягом всього року використовуватися для зменшення виносу пилу з поверхонь хвостосховищ;

- нанесення РПБ за допомогою гідромоніторів дозволяє повністю механізувати процес нанесення та виключити заїзд техніки на поверхню хвостосховища;

- завдяки високій гігроскопічності, РПБ підтримує високу вологість хвостів в період між намивами карт, зменшуючи винесення пилу з поверхні хвостосховищ.

Бішофіт є економічно вигідним, оскільки не потребує значних витрат на транспортування або спеціалізовану техніку для приготування розчину.

Попри переваги, існують деякі обмеження у використанні РПБ:

- необхідність регулярного нанесення у зв'язку з вивітрюванням розчину;
- обмежена ефективність у періоди сильних дощів або при дуже високих температурах.

Використання розчину бішофіту є перспективним методом зменшення пиління на хвостосховищах та автодорогах. Ця технологія вирізняється простотою, екологічною безпекою та ефективністю.

Порівняльний аналіз ефективності використання різних засобів демонструє табл. 2.5 [7].

Таблиця 2.5 – Характеристики та експлуатаційні властивості в'яжучих засобів [7]

№	Речовина	Спосіб нанесення	Витрати	Тривалість дії	Ефективність (%)	Особливості використання
1	«Лексол»	Розпилення поливальною машиною	0,24–1,2 кг/м ²	До 10 днів	21	Потрібне регулярне нанесення через 10 днів; неможливість використання взимку
2	«VTA-50»	Розпилення з водовозки чи поливальної машини	25 г/м ²	Понад 30 днів	40–50	Потребує ретельного перемішування
3	PG 100 (DP)	Гідропосів або поливальні машини	1,5 кг/м ²	Понад 30 днів	>85	Складна технологія, екологічно безпечний
4	Природний бішофіт	Розпилення гідромонітором	1,0–1,5 л/м ²	Залежить від погодних умов	60–85	Висока гігроскопічність, економічний

Висновки до розділу 2

1. Розділ містить комплексний огляд сучасних підходів та технологій мінімізації пиління хвостів хвостосховищ, зокрема, використання фізико-хімічних методів закріплення сухих поверхонь.
2. Виявлено, що застосування хімічних закріплювачів, таких як «Лексол», «VTA-50», PG 100 (DP) та природний бішофіт, забезпечують значне зниження пиління. Описано особливості їх підготовки, нанесення, тривалість дії та ефективність.
3. Основним фактором успішного впровадження цих методів є правильний вибір реагенту залежно від умов хвостосховища, наявного обладнання, кліматичних умов та бюджету. Окрім того, інноваційні підходи, такі як використання екофіксаторів із включенням мульчі та насіння, що забезпечує додаткову стабілізацію поверхні та зменшення екологічного впливу.
4. Загалом, застосування хімічних реагентів у поєднанні з сучасними технологіями нанесення є перспективним напрямом для мінімізації пиління на хвостосховищах, що сприятиме покращенню екологічної ситуації та умов праці.

3 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СПРИНКЛЕРНОЇ СИСТЕМИ З МЕТОЮ ЗРОШЕННЯ КАРТ ХВОСТОСХОВИЩА

Впровадження спринклерної системи поливу є ключовим елементом для забезпечення стійкості зелених насаджень (такі як озиме жито і озиме тритикале), висаджених на сухих картах хвостосховищ.

Регулярний полив озимих культур забезпечує оптимальний рівень вологи для росту рослин. Крім того, можливість внесення добрив через зрошувальну систему сприяє активному розвитку кореневої системи, що в свою чергу зміцнює поверхню сухих карт хвостосховищ. Рослинний покрив виступає природним бар'єром, який ефективно утримує пилові частки та запобігає їх розповсюдженню.

Підтримка належного зволоження через зрошення допомагає зберегти структурну цілісність рослинного шару. Крім того, підтримання належного рівня вологості допомагає зберегти структурну цілісність рослинного шару, що особливо важливо після періоду цвітіння, коли рослинність досягає максимальної густоти.

Після завершення вегетаційного періоду рослин доцільно провести розпилення спеціальними реагентами (наприклад «Лексол» або VTA-50), які утворюють захисний шар, що фіксує ґрунтовий покрив та сприяє утриманню пилових часток, навіть за умов впливу вітру і сухого повітря.

Комбінування таких пилопригнічуючих заходів, як монтаж зрошувальної системи, високоякісного поливу озимих культур з можливістю додавання мікродобрив та розпилення реагенту створює комплексний захисний механізм. Такий інтегрований підхід гарантує довгострокову стабільність сухої поверхні хвостосховища.

- дальність польоту струменя і відстань між суміжними апаратами і трубопроводами при заданому напорі;
- ступінь стиснення еліпса при заданій швидкості вітру;
- оптимальну частоту обертання апарата;
- середню інтенсивність дощу;
- параметри і характер розпаду струменя на краплі.

3.3 Визначення кількості одночасно працюючих апаратів

Зрошувальна система передбачається розбірною задля можливості її перенесення на відмітки вище при будівництві нових ярусів хвостосховища.

Приймаємо схему стаціонарного розташування спринклерних систем по квадратах (рис. 3.4 та 3.5).

Виконуємо розрахунок для карт №12 та №13 хвостосховища 2-ї черги загальною площею 30,63 га.

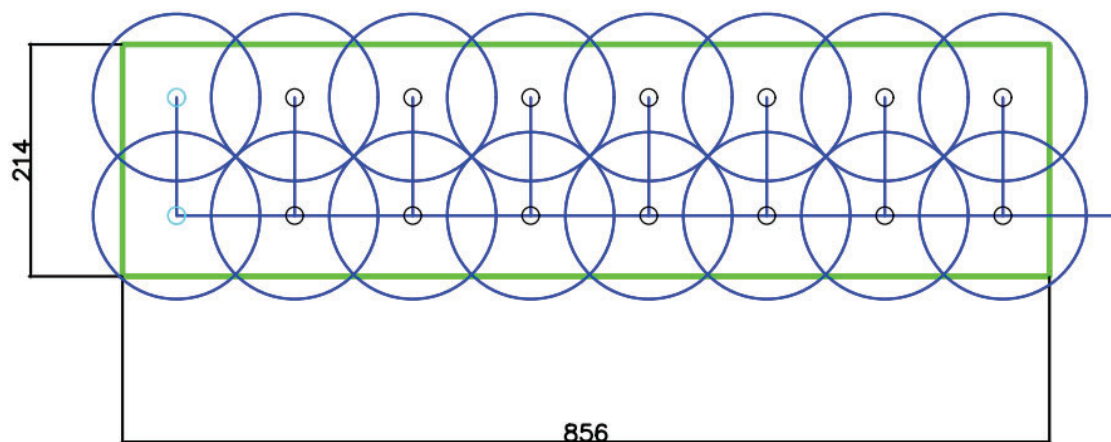


Рисунок 3.4 – Схема розташування спринклерів на карті №12

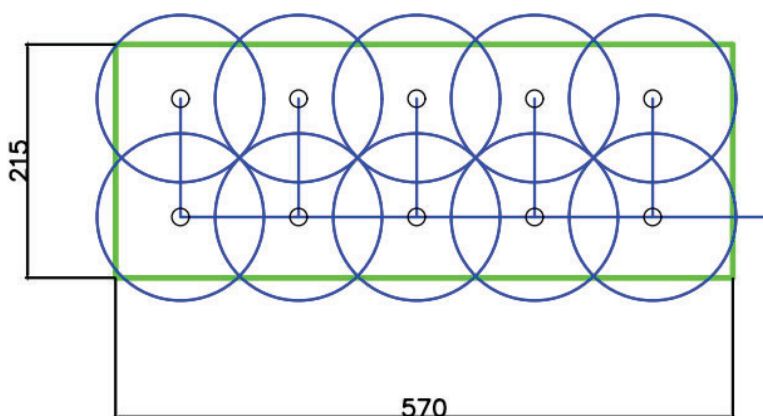


Рисунок 3.5 – Схема розташування спринклерів на карті №13

Для визначення кількості одночасно працюючих спринклерів необхідно визначити витрату води, яку необхідно видати всіма спринклерам.

Витрату води необхідну для зрошення із умов поливу ділянки протягом T діб визначають за формулою:

$$Q = \frac{m \cdot F \cdot \beta}{86,4 \cdot T \cdot K_{\text{доб}}}, \quad (3.1)$$

де Q – загальна витрата води, що необхідно подати на ділянку, л/с;

F – зрошувана площа ділянки, га;

T – проектна тривалість поливу, діб;

$K_{\text{доб}}$ – коефіцієнт використання робочого часу доби.

Для заданих умов:

m – поливна норма дорівнює 20 м³/га [12];

F – зрошувана площа дорівнює 30,63 га;

T – проектна тривалість поливу для розрахунку приймаємо 3 доби задля забезпечення нормального зростання озимих культур. Для умов відсутнього рослинного покриву (відцвітання) приймаємо цілодо-

- продуктивність розподілу води: забезпечує рівномірний розподіл води навіть на великих площах, що мінімізує створення сухих зон і ефективність збільшення;
- швидкість обертання: дозволяє досягти стабільної швидкості обертання навіть при змінному тиску води. Це забезпечення надійного спринклера для різних умов експлуатації;
- широкий діапазон налаштувань: система підтримує різні налаштування тиску та радіуса розпилення, що дозволяє адаптувати його до конкретних потреб;
- простота обслуговування та встановлення: конструкція спринклера дозволяє швидко встановити та легкий доступ до компонентів для технічного обслуговування, зменшуючи витрати часу та коштів.

Розрахунок параметрів для магістральних та розподільчих трубопроводів будемо виконувати для кожної ділянки окремо та зводитися у табличну форму (таблиця 3.4):

- магістральний трубопровід 1Кр (ділянки МНСУ-1,1-2, 2-3, 3-4, 4-5, МНСУ-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13) ;
- розподільчі трубопроводи (ділянки 1Кр1, 1Кр2, 1Кр3, 1Кр4, 1Кр5, 1Кр1-1, 1Кр1-2, 1Кр1-3, 1Кр1-4, 1Кр1-5, 1Кр1-6, 1Кр1-7, 1Кр1-8).

Виконуємо розрахунок параметрів для магістрального трубопроводу ділянки МНСУ-1.

Розрахунковий діаметр магістрального трубопроводу визначимо за формулою:

$$d = 1000 \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}, \quad (3.8)$$

де Q – витрати води в трубопроводі, $\text{м}^3/\text{с}$;

v – оптимальна швидкість руху води, $\text{м}/\text{с}$.

Швидкість води в поліетиленових трубах приймається рівною 2м/с. Мінімально допустиме значення цієї швидкості зумовлене недопущенням замулення труб наносами. Збільшення швидкості дозволяє зменшити діаметр труб, а значить, і їх вартість, але збільшує напір.

Витрати води в трубопроводі визначається:

$$Q = \frac{q}{S} \cdot n \quad (3.9)$$

де q – витрати води спринклером, л/с;

S – площа зрошення, га;

n – кількість працюючих трубопроводів, шт.

Визначимо витрату в трубопроводі за формулою (3.9):

$$Q = \frac{q}{S} \cdot n = \frac{(30/1000)}{30,63} \cdot 1 = 0,0599 \text{ л/с}$$

Розрахунковий діаметри трубопроводу дорівнює (3.8):

$$d = 1000 \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0599}{\pi \cdot 2}} = 195,3 \text{ мм}$$

Приймаємо найближчий стандартний діаметр трубопроводу згідно табл. 3.3 [31], що становить 225 мм, з товщиною стінки 10,8 мм, тобто внутрішній діаметр магістрального трубопроводу становитиме $225 - 2 \cdot 10,8 = 203,4$ мм.

Швидкість руху води визначається за формулою:

$$v_{\text{сер}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{ст}}^2}, \quad (3.10)$$

де $d_{ст}$ – стандартний внутрішній діаметр трубопроводу, м.

Уточнюємо швидкість руху води за формулою (3.10):

$$v_{сер} = \frac{4Q}{\pi d_{ст}^2} = \frac{4 \cdot 0,0599}{\pi \cdot 0,2034^2} = 1,84 \text{ м/с}$$

Порівнюємо фактичну швидкість руху води з допустимою швидкістю на замулювання, яку приймають рівною 0,3 м/с при заборі води з річки і 0,2 м/с при заборі із водосховищ.

Отримана уточнена швидкість 1,84 м/с знаходиться в рекомендованому діапазоні швидкостей 1-3 м/с та більше ніж допустима швидкість на замулювання 0,2-0,3 м/с.

Втрати напору по довжині трубопроводу визначимо за рівнянням Дарсі-Вейсбаха (3.11):

$$h_l = \lambda \frac{v_{сер}^2 \cdot l}{2 \cdot g \cdot d_{ст}}, \quad (3.11)$$

де l – довжина трубопроводу (ділянки), м;

$v_{сер}$ – фактична середня швидкість руху води в трубопроводі, м/с;

$d_{ст}$ – стандартний внутрішній діаметр трубопроводу, м;

g – швидкість вільного падіння, $g=9,81 \text{ м/с}^2$;

λ – гідравлічний коефіцієнт тертя.

Значення гідравлічного коефіцієнта тертя λ , визначимо за табл. 3.4 та коефіцієнт шорсткості труб за таблиці 3.5 [36].

Таблиця 3.4 – Гідравлічний коефіцієнт тертя λ , розрахований за формулою М. М. Павловського [36]

Діаметр труби, мм	Коефіцієнт шорсткості труб, n				
	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015
200	0,021	0,026	0,033	0,039	0,050
250	0,020	0,025	0,031	0,037	0,047
300	0,019	0,024	0,029	0,035	0,044
400	0,017	0,022	0,026	0,033	0,039
500	0,016	0,020	0,025	0,030	0,036
600	0,016	0,019	0,024	0,028	0,034
700	0,015	0,019	0,023	0,027	0,032
800	0,015	0,018	0,022	0,026	0,031
900	0,014	0,017	0,021	0,025	0,029
1000	0,013	0,017	0,020	0,023	0,028
1200	0,013	0,016	0,019	0,022	0,026
1500	0,012	0,015	0,018	0,021	0,025
2000	0,011	0,014	0,016	0,019	0,022

Таблиця 3.5 – Коефіцієнт шорсткості закритих трубопроводів [36]

Характеристика труб	Коефіцієнт шорсткості, n
Керамічні	0,012-0,015
Азбестоцементні	0,011-0,012
Пластмасові	0,010-0,012
Дерев'яні та дощані	0,013-0,015
Залізобетонні та бетонні напірні без штукатурки	0,012-0,016
зі штукатуркою	0,010-0,014
Металеві напірні	0,012-0,015

Визначимо втрати напору по довжині магістрального трубопроводу (3.11):

$$h_l = \lambda \frac{v_{\text{сеп}}^2 \cdot l}{2 \cdot g \cdot d_{\text{ст}}} = 0,021 \frac{1,84^2 \cdot 84,68}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,2034} = 1,51 \text{ м}$$

Втрати напору на подолання місцевих опорів приймаємо як для гідравлічнодовгих трубопроводів, тобто $h_M = 0,1 h_l = 0,1 \cdot 1,51 = 0,15 \text{ м}$.

Загальні втрати напору в трубопроводі визначимо як суму втрат по довжині та місцевих, тобто:

$$h_W = 1,1 \cdot h_l = 1,1 \cdot 1,51 = 1,67 \text{ м},$$

$$h_W = h_l + h_M = 1,51 + 0,15 = 1,67 \text{ м}$$

Виконаємо аналогічні розрахунки для інших ділянок магістрального трубопроводу та розподільчих трубопроводів.

Результати розрахунків наведено у таблиці 3.6. та на рисунку 3.4.

Таблиця 3.6 – Гідравлічний розрахунок трубопроводів карт №12, 13

Найменування трубопроводу	Ділянка	Довжина, м	Витрати, л/с	Марка трубопроводу	Внутрішній діаметр, мм	Відмітка п'езометричної лінії в кінці ділянки, м	Швидкість руху води, м/с	Відмітки п'езометричної лінії на початку ділянки, м
1Кр	МПС-1	84,68	0,30	ПЕ	417,20	2	2,19	2
1Кр	1-2	109,00	0,24	ПЕ	417,20	2	1,75	2
1Кр	2-3	109,00	0,18	ПЕ	417,20	2	1,31	2
1Кр	3-4	109,00	0,12	ПЕ	277,60	2	1,98	2
1Кр	4-5	109,00	0,06	ПЕ	207,80	2	1,77	2
1Кр1	К-12	109,00	0,06	ПЕ	207,80	2	1,77	1
1Кр2	К-12	109,00	0,06	ПЕ	207,80	2	1,77	1
1Кр3	К-12	109,00	0,06	ПЕ	207,80	2	1,77	1
1Кр4	К-12	109,00	0,06	ПЕ	207,80	2	1,77	1
1Кр5	К-12	109,00	0,06	ПЕ	207,80	2	1,77	1
1Кр-1	МПС-6	74,00	0,48	ПЕ	591,40	2	1,74	2
1Кр-1	6-7	109,00	0,42	ПЕ	591,40	2	1,53	2
1Кр-1	7-8	109,00	0,36	ПЕ	591,40	2	1,31	2
1Кр-1	8-9	109,00	0,30	ПЕ	417,20	2	2,19	2
1Кр-1	9-10	109,00	0,24	ПЕ	417,20	2	1,75	2
1Кр-1	10-11	109,00	0,18	ПЕ	417,20	2	1,31	2
1Кр-1	11-12	109,00	0,12	ПЕ	277,60	2	1,98	2
1Кр-1	12-13	109,00	0,06	ПЕ	207,80	2	1,77	2
1Кр1-1	К-13	109,00	0,06	ПЕ	207,8	2	1,77	1
1Кр2-2	К-13	109,00	0,06	ПЕ	207,8	2	1,77	1
1Кр3-3	К-13	109,00	0,06	ПЕ	207,8	2	1,77	1
1Кр4-4	К-13	109,00	0,06	ПЕ	207,8	2	1,77	1
1Кр5-5	К-13	109,00	0,06	ПЕ	207,8	2	1,77	1
1Кр6-6	К-13	109,00	0,06	ПЕ	207,8	2	1,77	1
1Кр7-7	К-13	109,00	0,06	ПЕ	207,8	2	1,77	1
1Кр8-8	К-13	109,00	0,06	ПЕ	207,8	2	1,77	1

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення охорони праці є обов'язковою складовою частиною діяльності кожного підприємства. У відповідності до вимог Закону України "Про охорону праці" та інших нормативно-правових актів, керівництво комбінату має вжити комплекс заходів для гарантування безпечних умов праці на робочих місцях, особливо на хвостосховищах, де ризики для здоров'я працівників можуть бути підвищеними через пило-ві та інші небезпечні фактори.

Керівництво підприємства повинно забезпечити:

- індивідуальний захист – кожен працівник, що працює на хвостосховищах, повинен бути оснащений необхідними засобами індивідуального захисту (респіраторами, спецодягом, окулярами);

- колективний захист – створення зон, де застосовуються засоби колективного захисту, такі як вентиляційні системи, пилопригнічувальні установки, а також автоматизовані системи для контролю стану повітря.

Забезпечення безпеки виробничих процесів передбачає:

- підприємство зобов'язане здійснювати регулярний моніторинг технічного стану виробничого обладнання, використовуючи сучасні інструменти для попередження поломок та аварій;

- встановлення систем моніторингу для виявлення підвищеного пиління, зміни концентрації небезпечних речовин в повітрі [11].

Підприємство повинно створити умови, що відповідають санітарно-гігієнічним вимогам [38]:

- організація робочого процесу повинна враховувати необхідність оптимальних режимів праці та відпочинку для кожного працівника;

- температурний режим та вологість повинні бути контрольовані для запобігання підвищеному пилінню.

Одним з важливих аспектів є підвищення кваліфікації працівників:

- працівники повинні проходити регулярні тренінги з охорони праці, освоюючи безпечні методи роботи та принципи використання засобів захисту;

- для кожного виду робіт розробляються інструкції, які повинні дотримуватись всіма працівниками.

Для забезпечення безпеки на підприємстві створюються відповідні служби та призначаються посадові особи, що відповідають за питання охорони праці [37]:

- створення положень та інструкцій, які регламентують діяльність працівників на території підприємства;

- відповідальні особи мають здійснювати контроль за виконанням правил охорони праці, а також виявляти та усувати порушення.

Підприємство зобов'язане:

- на підставі розслідувань необхідно вживати заходів для усунення причин, що призводять до травм та захворювань;

- організуються перевірки та оцінка стану робочих місць, що включають лабораторні дослідження умов праці.

Щоб знижувати ризики для здоров'я працівників, підприємства мають впроваджувати нові технології [38]:

- використання новітніх технологій для мінімізації людського фактору у роботі з небезпечними матеріалами;

- застосування спеціальних пристроїв для пилопригнічення, а також технологій, що дозволяють знижувати рівень пилу в повітрі.

Роботодавець несе повну відповідальність за порушення вимог охорони праці. Відповідальність включає:

- матеріальна та адміністративна відповідальність за недотримання норм безпеки праці;

- вжиття термінових заходів для усунення порушень та захисту працівників від нещасних випадків.

Працівник, перебуваючи на території підприємства, має виконувати низку вимог для забезпечення власної безпеки та безпеки оточуючих. Це включає такі аспекти [37]:

- дотримання правил безпеки, де працівник зобов'язаний дбати про свою особисту безпеку та здоров'я, а також про безпеку колег під час виконання робіт або перебування на території підприємства;

- знання нормативно-правових актів з охорони праці, правил користування обладнанням та технічними засобами. Працівник повинен безумовно слідувати інструкціям щодо роботи з машинами, механізмами та іншими засобами виробництва, а також використовувати засоби індивідуального і колективного захисту;

- працівники повинні регулярно проходити попередні та періодичні медичні огляди, щоб гарантувати, що їх здоров'я не піддається ризику в процесі виконання робочих обов'язків.

Працівник несе відповідальність за порушення норм охорони праці, включаючи:

- матеріальну та дисциплінарну відповідальність за порушення правил безпеки;

- моральну відповідальність за створення небезпечних ситуацій на робочому місці.

Працівник повинен усвідомлювати серйозність наслідків порушення норм охорони праці і активно співпрацювати в процесі запобігання аваріям та травмам.

Права працівників на охорону праці під час роботи [37]:

- 1) працівники повинні проходити навчання та перевірку знань з охорони праці відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання (наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 № 15);

- 2) на підприємстві повинні проводитися інструктажі з охорони праці при прийомі на роботу та періодично протягом трудової діяльно-

сті. Інструктажі охоплюють питання надання домедичної допомоги, дій у разі аварій, пожеж та інших надзвичайних ситуацій;

3) категорії інструктажів. Інструктажі поділяються на кілька типів:

- вступний,
- первинний,
- повторний,
- позаплановий,
- цільовий

4) необхідність проходження навчання та інструктажів. Працівники, які не пройшли навчання або інструктаж з охорони праці, не допускаються до виконання робіт;

5) роботодавець організовує медичні огляди для працівників певних категорій (попередній при прийомі на роботу та періодичні), згідно з наказом Міністерства охорони здоров'я України;

6) заборона на роботу неповнолітніх. Залучення неповнолітніх до робіт зі шкідливими та небезпечними умовами праці заборонено відповідно до переліку важких робіт, затвердженого Міністерством охорони здоров'я;

7) для управління та обслуговування гірничих і транспортних машин допускаються тільки працівники з відповідною кваліфікацією, які пройшли спеціалізоване навчання і мають посвідчення;

8) перед початком роботи або протягом зміни кожне робоче місце повинно бути оглянуте посадовою особою, що контролює безпеку робіт. Якщо порушення виявлено, роботи не повинні проводитись⁴

9) працівник повинен перевіряти стан свого робочого місця, справність механізмів та інструментів перед роботою. У разі виявлення порушень, він має повідомити відповідну посадову особу;

10) заборонено відпочивати у небезпечних зонах, таких як забої, укуси, працюючі механізми або транспортні шляхи;

11) перед пуском механізмів та рухом транспорту необхідно переконатись у безпеці оточуючих і подавати звукові та світлові сигнали для попередження інших працівників.

Принципи екологічної безпеки та відповідальності враховуються під час проєктування та експлуатації об'єктів, що можуть негативно впливати на довкілля. Підприємства, споруди та інші об'єкти не можуть бути введені в експлуатацію без дотримання екологічних вимог та виконання заходів, передбачених проєктами будівництва та реконструкції. Під час проєктування та експлуатації необхідно передбачати заходи для запобігання аваріям та мінімізації їх екологічних наслідків. Перелік екологічно небезпечних об'єктів визначається центральним органом виконавчої влади, який формує державну політику у сфері охорони навколишнього середовища. У разі порушення екологічного законодавства передбачена відповідальність, яка може включати дисциплінарні, адміністративні, цивільні чи кримінальні санкції. Для моніторингу екологічного стану діє державна система спостереження, що аналізує стан довкілля, прогнозує зміни та розробляє рекомендації для запобігання негативним наслідкам [37].

Хвостові та шламові господарства впливають на природні ресурси, ландшафт, води, повітря та умови проживання населення, тому необхідно вживати заходів для мінімізації такого впливу. До таких заходів належать зменшення скидів води та максимальне повернення фільтраційних вод у хвостосховище. Керівництво цеху шламового господарства зобов'язане здійснювати постійний контроль за впливом на довкілля та готувати звітність для державних органів. Для зниження негативного впливу передбачені конкретні екологічні заходи, серед яких скорочення скидів, раціональне використання водних ресурсів і перехоплення фільтраційних вод.

Контроль впливу хвостосховища на водні ресурси включає проведення хімічного аналізу з відбором проб із свердловин та річки Інгу-

лець, що дозволяє оцінити ступінь забруднення ґрунтових і поверхневих вод. За нормальних умов контроль здійснюється раз на квартал, а у разі змін у хімічному складі води – частіше, щомісяця або за необхідності. Повний хімічний аналіз включає дослідження фізичних властивостей води, вмісту хімічних елементів, таких як кальцій, магній, натрій, фосфати, залізо, а також визначення агресивності води та її окислюваності.

Процес відбору проб здійснюється з різних глибин свердловин з інтервалом від 2 до 5 метрів залежно від глибини, а кожна проба маркується із зазначенням місця та глибини відбору, рівня ґрунтових вод, дати та підпису спостерігача. Для збереження хімічного складу проби консервуються з метою уникнення осадоутворення та втрати агресивної вуглекислоти. Зібрані дані зберігаються та обробляються контрольним постом, де фіксуються результати аналізів [37].

Для запобігання пилінню та зменшення забруднення повітряного середовища застосовується метод намиву, що дозволяє ефективно знижувати пиловиділення із засипаних хвостів.

Ці заходи спрямовані на забезпечення екологічної безпеки при експлуатації хвостосховищ і контроль за можливим забрудненням водних ресурсів.

Заходи, спрямованих на боротьбу з пилінням під час будівництва та експлуатації хвостосховищ [37]:

- 1) основний акцент на виконанні огорожувальних споруд, що запобігають розповсюдженню пилу;

- 2) включають рівномірне замивання карт та впорядковану роботу випусків, що дозволяє мінімізувати пиловиділення;

- 3) включають зволоження хвостів із використанням поливномийних машин на будівельних майданчиках, дорогах і в кар'єрах хвостів, а також хімічне закріплення поверхонь хвостів;

4) для зменшення пиління насипи хвостів можна зміцнювати відвальними скельними породами або щебенем;

5) постійне зволоження ґрунтових доріг за допомогою технічної води з оборотного водопостачання;

6) для зменшення негативного впливу машин та механізмів необхідно забезпечити:

- злив паливно-мастильних матеріалів у спеціально відведені місця.

- покриття майданчиків для стоянки і миття автомобілів тверде, з обов'язковим попереднім очищенням стічних вод у відстійниках.

- усі транспортні засоби повинні мати сертифікат державної екологічної служби щодо викидів оксидів вуглецю у вихлопних газах.

Ці заходи мають на меті значне зниження негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема на атмосферу та водні ресурси під час експлуатації хвостосховищ.

Висновки до розділу 4

1. Забезпечення охорони праці підприємства є ключовим елементом діяльності, спрямованим на мінімізацію ризиків для здоров'я працівників.

2. Впровадження індивідуальних та колективних засобів захисту, таких як респіратори, спецодяг та пилопригнічувальні установки, створюють безпечне робоче середовище.

3. Необхідно виконувати регулярний моніторинг стану обладнання, організація навчальних програм і тренінгів для підвищення рівня дотримання норм охорони праці.

4. Використання новітніх технологій, таких як механізовані системи пілопригнічення, зменшують негативний впливу на працівників та навколишнє середовище.

5. Забезпечення безпечних умов праці вимагає не лише дотримання нормативів з боку роботодавця, але й відповідальність працівників за виконання вимог охорони праці.

5 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДІВ МІНІМІЗАЦІЇ ПИЛІННЯ СУХИХ ХВОСТІВ

Економічна оцінка є невід'ємною складовою обґрунтування впровадження заходів з мінімізації пиління на хвостовищах. Вона дозволяє застосувати не лише витрати на реалізацію певних технологій, але й оцінити можливий економічний ефект від їх застосування. Це включає зменшення впливу на навколишнє середовище, скорочення витрат на ліквідацію наслідків пиління, а також мінімізацію штрафних санкцій.

У даному розділі виконаємо аналіз витрат на впровадження методів мінімізації пиління на сухих хвостовиках розглянутих у розділах раніше. Отримані данні порівняльного аналізу наведено у таблицях 5.1 та 5.2 [26, 29, 32].

Таблиця 5.1 – Дані порівняльного аналізу впровадження використання реагентів [26, 29, 32]

Найменування	Витрата, т/га	Площа, га	Ціна, грн/т	Загальна витрата, т/га	Загальна вартість, грн	Витрати за 30 років, грн
"Лексол"	0,075	30,63	17 630,00	2,30	40 494,96	109 336 402,94
"ВТА-50"	0,25	30,63	32 895,00	7,66	251 858,92	680 019 091,43
"Еко-фіксатор PG 100 (DP)"	1,5	30,63	17 145,00	45,94	787 619,01	2 126 571 331,05
Природний бішофіт	25	30,63	3400,00	765,65	2 603 193	7 028 621 100,00

Використання реагентів для зменшення пиління має нестабільний характер через їх обмежену ефективність у часі. Для підтримання необхідного рівня пилопригнічення виникає необхідність нанесення

Висновки до розділу 5

1. Використання реагентів для мінімізації пиління є тимчасовим заходом, при цьому їх ефективність знижується з часом під впливом погодних умов, таких як вітер, опади або висока температура. Це вимагає багаторазового нанесення, що призводить до зростання витрат на матеріали, трудові ресурси та фінанси, особливо при застосуванні на великих площах.

2. Впровадження спринклерної системи потребує значних початкових інвестицій, проте спринклерна система забезпечує безперервне та стабільне зволоження поверхні, незалежно від погодних умов. Вона є більш економічно доцільною у довгостроковій перспективі, оскільки усуває потребу у повторних витратах на реагенти. Крім того, використання води як основного робочого середовища включає додаткові хімічні навантаження на навколишнє середовище, забезпечуючи екологічну безпеку.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі представлені результати пошуку інноваційних підходів та технологій мінімізації пиління хвостосховищ відходів збагачення залізних руд.

Основні результати досліджень представлені нижче.

1. Визначено, що основними факторами пилоутворення є швидкість і напрямок вітру, гранулометричний склад хвостів, рівень вологості поверхонь, а також кліматичні умови регіону. Швидкість вітру понад 4 м/с сприяє інтенсивному рознесенню пилу на значні відстані.

2. Найбільш дієвими способами боротьби з пилінням виявилися: хімічні методи, а саме використання реагентів для створення захисних покриттів; біологічні методи (озеленення поверхонь); організаційні заходи (зволоження поверхонь).

3. Тестування реагентів «Лексол» та «VTA-50» показує їхню високу ефективність у закріпленні поверхонь. Дані реагенти забезпечують зменшення пиління та мають тривалий ефект дії.

4. Для умов ГЗК рекомендовано використовувати комбінований підхід, що включає застосування реагентів «Лексол» та «VTA-50». Це дозволить забезпечити ефективне закріплення поверхонь за економічно прийнятних умов.

5. Спринклерні системи підтверджують свою ефективність у зволоженні сухих ділянок хвостосховищ, забезпечуючи рівномірний розподіл вологи по поверхні та зменшуючи пилоутворення. Вони є особливо корисними в періоди підвищеної температури, коли природна вологість знижується. Застосування таких систем дозволить мінімізувати пилоутворення без значного впливу на витрати ресурсів.

6. Впровадження запропонованого комплексу заходів сприятиме зниженню негативного впливу хвостосховищ на довкілля, покра-

щенню умов праці та підвищенню якості повітря на прилеглих територіях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зборщик Т. В. Біоекологічна рекультивація шламосховищ червоних шламів : магістерська дипломна робота. Миколаїв, 2020. 79 с.
2. ДБН В.2.4-5:2012. Хвостосховища і шламонакопичувачі. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. [Чинний від 01.09.2012]. Вид. офіц. Київ, 2012. 13 с. (Інформація та документація)
3. Blight G. E. Wind Erosion of Waste Impoundments in Arid Climates and Mitigation of Dust Pollution. *Waste Management & Research*. 2008. Vol (26). P.523–533. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X07082027>.
4. Івчук В. В. Рівень професійної захворюваності у місті Кривий Ріг за 2015–2019 роки. *Вісник проблем біології і медицини*. 2020. Вип. 3, № 157. С. 76–78. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5803774>.
5. Бондарчук О. М. Підвищення екологічної безпеки територій впливу залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів на основі зменшення пиловиділення шламосховищ : автореф. дис. канд. техн. наук : 21.06.01. Дніпро, 2010. 20 с.
6. Домнічев М. В., Маленко Я. В., Негрій Т. О., Шепеленко Р. М. Скорочення виносу пилу з поверхонь хвостосховищ як елемент підготовки до рекультивації. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2021. Вип.№1(48). С. 172–180. DOI: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2021-1-91-101>.
7. Домнічев М. В., Нестеренко О. В., Близнюкова О. Ю. Обґрунтування використання розчину природного бішофіту для обробки пилячих поверхонь. Кривий Ріг: Сінельников Д. А., 2020. 111 с. URL: <http://ds.knu.edu.ua/jspui/handle/123456789/3098> (дата звернення: 27.12.2024).
8. Крамарьов С. М., Бандура Л. П., Гулін В. В., Гулін В. М. Науково-практичний посібник з проведення закріплення поверхонь хвостос-

ховищ для пилопригнічення техноземів, забруднених промисловими відходами, способом вирощування сільськогосподарських культур, стійких до повітряної та ґрунтової посухи в умовах гострого дефіциту рухомих форм поживних речовин. Дніпро : ТОВ «Дріант», 2020. 57 с.

9. Домнічев М. В., Малаховський М. І., Негрій Т. О., Нестеренко О. В., Близнюкова О. Ю. Проведення біологічної рекультивації діючих хвостосховищ. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2020. № 1. С. 172–180. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vdgi_2020_1_19 (дата звернення: 27.12.2024).

10. Tishina V. M. Review of methods to reduce dust emission from tailing dam surfaces//International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 2. P. 226-228. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-191>.

11. Проект технічної експлуатації споруд хвостового господарства та оборотного водопостачання ПРАТ «ІНГЗК». (Внутрішня документація).

12. Експлуатація шламосховища № 2 ТОВ «МГЗ» від позначки 42,5 м до позначки 82,5 м. Шостий ярус нарощування шламосховища від позначки 57,5 м до позначки 60,5 м. Робоча документація. (Внутрішня документація).

13. 3 innovative dust control measures for open-pit mines. Dust-A-Side : веб-сайт. URL: <https://news.dustaside.com/3-innovative-dust-control-measures-for-open-pit-mines> (дата звернення: 27.12.2024).

14. Григор'єва Л. І., Томілін Ю. А. Управління ризиком дефляційних явищ на хвостосховищах у системі ризик-менеджменту переробних підприємств : монографія. Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2016. 188 с.

15. Chemical Stabilization of Mining Tailings: A Sustainable Solution. Future Bridge Mining : website. URL: <https://mining-events.com/chemical-stabilization-of-mining-tailings-a-sustainable-solution/> (дата звернення: 27.12.2024).

16. Порівняльний аналіз способів мінімізації пилоутворення з відвалів гранітних кар'єрів /О. Я. Тверда, К. К. Ткачук, Ю. А. Давиденк. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2016. №2(10). С. 40-46.

17. Пашков А. П., Єсипенко А.С. Аналіз та критерії вибору під час розробки природоохоронних заходів на призупинених та припинених кар'єрах України. *Наукові розробки*. 2010. № 5. С. 7-14.

18. Собко Д. І., Ложников О. В. Дослідження впливу хвостів відвалів на порушених землях за допомогою показників: Дослідження впливу відвалів відвалу на порушені землі. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2019. Вип. №59. С. 8–20. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/59.00>.

19. Домнічев М. В., Нестеренко О. В., Близнюкова О. Ю. Елементи біологічної рекультивациі узбіч, як спосіб зменшення пилового навантаження на працівників. *Гірничий вісник*. 2020. Вип. №108. С. 50–56. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/girvi_2020_108_11 (дата звернення: 27.12.2024).

20. The use of different emulsion types in dust control. Zhejiang Ruico Advanced Materials Co., Ltd. : website. URL: <https://www.ruicoglobal.com/news/the-use-of-different-emulsion-types-in-dust-control.html> (дата звернення: 27.12.2024).

21. Надточій П. П., Вольфач В. В., Гермашенко В. Г. Екологія ґрунту і його забруднення. Київ: Аграрна наука, 1997. 265 с.

22. Домнічев М. В., Нестеренко О. В., Близнюкова О. Ю. Мульчування техногенних поверхонь для зменшення пилотворення. *Technical*

research and development: collective monograph. International Science Group. Boston: Primedia eLaunch, 2021. P. 470.

23. Регламент по контролю та запобіганню пиління сухих поверхонь хвостосховищ ПРАТ «ІНГЗК». (Внутрішня документація).

24. Shchokin V. P., Nalyvaiko V. G., Ezhov V. V. Application of Leksol surfactant aqueous solution to bind the dust on quarries' roads and reduce the dust emission during large-scale blasts. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2018. Vol. 8, No. 1. P. 755–761. DOI: https://doi.org/10.15421/2018_277.

25. Наливайко В. Г., Лосьєв К. В. Використання водного розчину ПАР "Лексол" для зниження пиловиділення на прикладі кар'єра ПрАТ "ІНГЗК". *Гірничий вісник.* 2018. Вип. №104. С. 121–125. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/girvi_2018_104_27 (дата звернення: 27.12.2024).

26. Наливайко В. Г., Коновалюк В. А. Дослідження ефективності застосування водного розчину реагенту «Лексол» для пилоподавлення. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.* 2019. Вип. № 29. С. 43–49.

27. Комерційна пропозиція №622 від 05.05.2018 р. ТОВ «ВТА Україна». (Внутрішня документація).

28. Методика проведення випробувань реагенту VTA фірми ТОВ «ВТА-УКРАЇНА ПЛЮС» для закріплення поверхневого шару хвостосховища ПРАТ «ІНГЗК». (Внутрішня документація).

29. Вибір варіантів заходів щодо захисту навколишнього середовища від запилення хвостів, відм. 131,0 м. 1 етап. Заходи щодо захисту навколишнього середовища. Основні технічні рішення. Варіанти. (Внутрішня документація).

30. Комерційна пропозиція №6295 від 05.06.2018 р. «ТОВ Імвент Кемікал». (Внутрішня документація).

31. Тищук В. Ю. Закріплення пильних поверхонь на гірничих підприємствах з використанням біотехнологій. *Вісник Кременчуцького*

національного університету імені Михайла Остроградського. 2014. Вип. № 37. С. 79–84. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu_2014_37_19 (дата звернення: 27.12.2024).

32. Закріплення пилячих поверхонь ПРАТ «ІНГЗК» водним розчином природного бішофіту. (Внутрішня документація).

33. Закріплення пилячих поверхонь водним розчином природного бішофіту : Технологічна інструкція. (Внутрішня документація).

34. Швагер Н. Ю., Домнічев М. В., Нестеренко О. В., Близнюкова О. Ю. Шляхи скорочення виносу пилу з поверхонь діючих хвостосховищ. *Екологічна безпека та природокористування*. 2018. Вип. №3. С. 32–36. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebkrd_2018_3_7 (дата звернення: 27.12.2024).

35. Технології захисту зрошувальних земель у вододефіцитних районах : методичні вказівки до виконання індивідуального завдання / Уклад. Н.М. Максимова. Запоріжжя: ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023. 104 с.

36. Техніка поливу. Водна інженерія та водні технології : методичні вказівки / В.І. Доценко, Т.І. Ткачук. Дніпро: ДДАЕУ, 2021. 64 с

37. Контроль і спостереження за безпечним станом хвостосховищ і шламосховищ – Охорона праці і пожежна безпека. Охорона праці і пожежна безпека : веб-сайт. URL: <https://oppb.com.ua/news/kontrol-i-sposterezhennya-za-bezpechnym-stanom-hvostoshovyshch-i-shlamoshovyshch> (дата звернення: 23.12.2024).

38. Правила охорони праці під час експлуатації хвостових і шламових господарств гірничорудних і нерудних підприємств : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 19 січня 2015р. №20. Верховна Рада України : офіційний веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-15#Text> (дата звернення: 27.12.2024).

39. Український виробник ТрубПолимерГрупп : веб-сайт. URL:
<https://svarochniy-apparat.com.ua> (дата звернення: 27.12.2024).

Матеріали за участі у International scientific conference
“MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of
business, technology and education”



International scientific conference

**MININGMETALTECH 2024 – THE MINING
AND METALS SECTOR: INTEGRATION
OF BUSINESS, TECHNOLOGY
AND EDUCATION**

November 28–29, 2024

Volume 2



International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 2. 368 pages.

Program Committee

Chairman of the program committee of the conference – Yuriy RYZHENKOV, General Director, METINVEST HOLDING LLC

Vice-chairman of the program committee of the conference – Oleksandr POVAZHNY, DSc (Economics), Professor, Rector, “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC” LLC

Secretary of the program committee of the conference – Maksym KARAKAI, PhD (Public Administration), Scientific Secretary, “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC” LLC

Oleksandr MYRONENKO – Operations Director, METINVEST HOLDING LLC

Tetyana PETRUK – Director of sustainable development and interaction with personnel, METINVEST HOLDING LLC

Olga OVCHYNNIKOVA – Director of economics and development of business systems, METINVEST HOLDING LLC

Yuliya DANKOVA – Financial director, METINVEST HOLDING LLC

Svitlana ROMANOVA – Director of legal support, METINVEST HOLDING LLC

Andriy YEMCHENKO – PhD (Engineering), Director of technical development, METINVEST HOLDING LLC

Dmytro TEVELEV – Adviser to the general director, METINVEST HOLDING LLC

Oleksandr PODKORYTOV – Director of technology and quality, METINVEST HOLDING LLC

Pavlo UZBEK – Director of the LP, IS, HC and EP department, METINVEST HOLDING LLC

Vitaly KOVALENKO – Director of the Department of Sustainable Development and Environmental Management, METINVEST HOLDING LLC

Marya VASILYEVA – General director, “Metinvest Sichstal” LLC

Gregory MASON – member of the Supervisory Board

Andrii KOSTRYZHEV – Project Manager – Material Characterization Scientist, The University of Queensland

Conference organizing committee

The head of the organizing committee of the conference – Volodymyr KUKHAR, DSc (Engineering), Professor, Vice-rector for research work, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Deputy head of the conference organizing committee – Nataliya REKOVA, DSc (Economics), Professor, First vice-rector – vice-rector for educational work, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Secretary of the organizing committee of the conference – Khrystyna MALII, PhD (Engineering), Head of the research department, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Volodymyr PASHYNSKY – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Materials Science and Applied Mechanics, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Vyacheslav KAMENETS – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Mining, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

International scientific conference

Review of methods to reduce dust emission from tailing dam surfaces Tishina V.M.	226
Development of hydrogen energy in Japan Fomin A.V.	228
Eco-innovations and compliance of metallurgical production – modern paradigms of innovative activity management Fonarova T.A., Bushuiev M.B., Petrenko V.O.	233
Formation of sustainable development of land use in agricultural enterprises as a condition for the revitalization of the Dnipro basin and reservoirs Shara S.Yu.	236
USING ICT IN ENGINEERING, BUSINESS AND EDUCATION	
Creation and study of models using Python Velychko V.Ye., Fedorenko O.H.	239
Implementation of the “Flipped Classroom” technology in teaching mathematical disciplines Hlazova V.V., Kaidan N.V., Krasnoshchokova N.M.	241
On the issue of applied orientation of teaching disciplines with a mathematical component at “ <i>Technical university “Metinvest polytechnic”</i> ” Hrudkina N.S., Kaidan N.V., Starov D.S., Chekhuta O.V.	245
Formation of research competence of applicants in the process of teaching probability theory and mathematical statistics Hrudkina N.S.	248
Supporting the research activities of educators through visual display of the features of the Van der Poel equation Dmytryshyn I.S.	252
Application of machine learning for clustering of company clients Ivanchenko N.O., Podskrebko O.S.	255
Virtual simulators as an element of information technology application in teaching physics Kaidan V.P., Pokhytun O.O.	259
Data modeling in mathematical disciplines using Microsoft Excel Kaidan N.V., Pofalit A.V.	263

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-191>

**REVIEW OF METHODS TO REDUCE DUST EMISSION
FROM TAILING DAM SURFACES**

**ОГЛЯД МЕТОДІВ СКОРОЧЕННЯ ВИНЕСЕННЯ ПИЛУ
З ПОВЕРХОНЬ ХВОСТОСХОВИЩ**

Tishina V.M.,

*Master's student (group 183-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Тішина В.М.,

*студентка магістратури
(група 183-23-1м),
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Інтенсивна розробка корисних копалин у промислових регіонах супроводжується накопиченням великих обсягів відходів у хвостосховищах. Ці об'єкти стають джерелом пилоутворення, що викликає значне забруднення атмосферного повітря та негативно впливає на екосистеми і здоров'я людей, особливо у промислових районах, як, наприклад, на Криворіжжі. Забруднення пилом спричиняє проблеми дихальної системи, алергічні реакції та інші захворювання, тому необхідно впроваджувати надійні методи стабілізації пилових поверхонь хвостосховищ.

Хвостосховища є техногенними об'єктами для зберігання відходів збагачення руд. У Кривому Розі хвостосховища займають значні території, зокрема, це хвостосховища великих комбінатів, таких як Інгулецький та Північний гірничо-збагачувальні комбінати (ГЗК). Дані техногенні об'єкти за недотримання умов їх експлуатації здатні призводити до забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, водних ресурсів, тобто становлять потенційну небезпеку для довкілля.

Основними факторами, що визначають пилоутворення, є:

– вітровий режим: напрямок та швидкість вітру впливають на інтенсивність пилоутворення. Частинки розміром 0,05–0,25 мм стають джерелом пилу при швидкості вітру понад 3 м/с [1];

– вологість матеріалу і повітря: низька вологість сприяє підйому частинок пилу, тому зволоженість поверхонь необхідна для стабілізації хвостосховищ [5].

Методи закріплення пилових поверхонь розподіляються на кілька основних груп:

Riga, the Republic of Latvia

November 28–29, 2024

– хімічні методи: використовують водорозчинні полімери або бітумні емульсії для створення захисного шару на поверхні [3]. Бітумні емульсії ефективні, але потребують повторного нанесення;

– біологічні методи: засадження хвостосховищ рослинами (наприклад, озимим житом або тритикале), що стабілізує поверхню, зменшує ерозію і покращує екологічний стан. Рослинність сприяє підтримці ґрунтової вологи і захищає від вітрової ерозії [2, 4];

– фізико-механічні методи: застосування геотекстилю, який запобігає вітровій ерозії, сприяє збереженню вологи і стабілізації ґрунту.

Порівняння методів закріплення пилових поверхонь. Хімічні методи є ефективними, але можуть потребувати повторного застосування через вплив погодних умов. Біологічні методи мають довготривалий вплив, але потребують тривалого часу на розвиток рослинного покриву. Фізико-механічні методи, такі як геотекстиль, є надійним бар'єром, який мінімізує ризик ерозії та пиловиділення в різних кліматичних умовах.

Проблема пилоутворення на хвостосховищах є серйозною екологічною загрозою у гірничо-видобувних регіонах. Впровадження комплексного підходу з використанням хімічних, біологічних та фізико-механічних методів може ефективно знизити забруднення повітря пилом і сприяти екологічному оздоровленню територій. Подальші дослідження необхідні для розробки більш економічних та екологічно безпечних рішень у цій сфері.

Перелік використаних джерел

1. Домнічев М. В., Маленко Я. В., Негрій Т. О., Шепеленко Р. М. Скорочення виносу пилу з поверхонь хвостосховищ як елемент підготовки до рекультивациі. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2021, Вип. № 1. С. 91-101.

2. Домнічев М. В., Нестеренко О. В., Близнюкова О. Ю. Елементи біологічної рекультивациі узбіч, як спосіб зменшення пилового навантаження на працівників. *Гірничий вісник*. 2020. Вип. 108. С. 50-56. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/girvi_2020_108_11 (дата звернення: 29.10.2024).

3. Спосіб закріплення сухих поверхонь діючих хвостосховищ: пат. 116406 Україна: С09К3/22. № u201609411; заявл. 12.09.2016; опубл. 25.05.2017, бюл. № 10/2017

4. Закріплення поверхонь хвостосховищ для пилопригнічення техноземів, забруднених промисловими відходами, способом вирощування сільськогосподарських культур, стійких до повітряної та ґрунтової посухи в умовах гострого дефіциту рухомих форм поживних

речовин: Науково-практичний посібник / С. М. Крамарьов, Л. П. Бандура, В. В. Гулін, В. М. Гулін. Дніпро: ТОВ підприємство «Дріант», 2020. 57 с. Режим доступу: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/3407> (дата звернення: 29.10.2024).

5. Собко Б. Ю., Ложніков О. В. Дослідження впливу параметрів хвостосховища у внутрішньому відвалі кар'єра на показники площі відновлення порушених земель. *Збірник наукових праць НГУ*. № 59, 2019. С. 8-20.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-192>

DEVELOPMENT OF HYDROGEN ENERGY IN JAPAN

РОЗВИТОК ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЯПОНІЇ

Fomin A.V., <i>PhD (History),</i> <i>Associate Professor,</i> <i>LLC "Technical university "Metinvest</i> <i>polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine</i>	Фомін А.В., <i>к.і.н., доцент,</i> <i>ТОВ «Технічний університет</i> <i>«Метінвест політехніка»,</i> <i>м. Запоріжжя, Україна</i>
---	--

У зв'язку з глобальним потеплінням світ постав перед викликами, які загрожують існуванню людства. У цих умовах провідні країни світу також взяли на себе ініціативу з розробки та впровадження технологій, які здатні якщо не відвернути, то значно призупинити насування планетарної антропогенної екологічної катастрофи. Самій Японії збереження існуючих темпів накопичення вуглецю в атмосфері загрожує затопленням значних територій, посиленню впливу екстремальних природних явищ, втратою традиційного способу життя. У той же час, ця країна входить до п'ятірки найбільших виробників CO₂ у світі. Досвід Японії у технологічних новаціях надзвичайно цінний для подальшого розвитку України, особливо в умовах післявоєнної відбудови, адже наша мета – вуглецева нейтральність до 2060 року [1].

Водень як паливо має свої переваги та недоліки. Застосування водню, як правило, призводить до відтворення води і запобігає зміні клімату. По-друге, його універсальність. Водень генерується для виготовлення аміачних добрив та у нафтопереробці, може замінити вугілля чи газ, слугувати енергоносієм для таких енергоємних галузей як

TSC-2829299-MIP dated 29.11.2024

CERTIFICATE **mip** metinvest
polytechnic

Valeriia TISHINA

for Participation in the International scientific-technical conference

**MININGMETALTECH 2024 – The mining
and metals sector: integration of business,
technology and education**

November 28–29, 2024

Total: 15 hours – 0.5 ECTS credit



Oleksandr POVAZHNYI
Doctor of Economics, Professor
Rector of LLC "TECHNICAL UNIVERSITY
"METINVEST POLYTECHNIC"

Матеріали за участі у 48-й Науково-технічній конференції молоді з нагоди 91-річчя ПАТ «Запоріжсталь»

ЗАПОРІЖСТАЛЬ



mip
metinvest
polytechnic

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»»
ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
ЗАПОРІЗЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ
«ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

**48-ма Науково-технічна конференція молоді
з нагоди 91-річчя ПАТ «Запоріжсталь»**

Збірник тез і анотацій наукових доповідей

УДК 082.2:669.18.013(477.65)(062.552)

C66

Редакційна колегія:

Тараско В. О., директор з виробництва ПАТ «Запоріжсталь»;
Педь М. Г., директор з персоналу ПАТ «Запоріжсталь»;
Петряков М. В., директор з інжинірингу ПАТ «Запоріжсталь»;
Борисов О. В., директор з операційних поліпшень ПАТ «Запоріжсталь»;
Гаврилюк К. О., директор з охорони праці, промислової безпеки та екології
ПАТ «Запоріжсталь»;
Набока В. І., директор з технології і якості ПАТ «Запоріжсталь»;
Донець О. К., керівник молодіжної організації комбінату ПАТ «Запоріжсталь»;
Кухар В. В., д. т. н., професор, проректор з науково-дослідної роботи
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"»;
Малій Х. В., к. т. н., керівник науково-дослідного департаменту
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"»;
Койфман О. О., к. т. н., доцент, завідувач кафедри автоматизації, електро-
та робототехнічних систем ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "МЕТІНВЕСТ
ПОЛІТЕХНІКА"»;
Держевецька М. А., к. е. н., доцент кафедри цифрових технологій та про-
єктно-аналітичних рішень, голова Ради молодих вчених ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"»;
Грибков Е. П., д. т. н., професор, завідувач кафедри металургії та організації
виробництва ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"»;
Штода М. М., к. т. н., доцент, доцент кафедри металургії та організації вироб-
ництва ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"»;
Пікарєня Д. С., д. г. н., професор, професор кафедри безпеки праці та охо-
рони довкілля ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"»

48-ма Науково-технічна конференція молоді з нагоди
С66 **91-річчя ПАТ «Запоріжсталь» : збірник тез і анотацій наукових**
доповідей. – Одеса : Олді+, 2024. – 124 с.

ISBN 978-966-289-930-6

До збірника увійшли матеріали, у яких обговорюються перспективні
науково-технічні розробки молодих науковців прикладного характеру.

УДК 082.2:669.18.013(477.65)(062.552)

ISBN 978-966-289-930-6

© ТОВ «ТУ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"», 2024

Зниження викидів отруйного оксиду вуглецю та економії змішаного газу шляхом контролю повноти згоряння палива на нагрівальних колодязях на ПАТ «Запоріжсталь» <i>Покрепов О. В.</i>	44
Огляд методів скорочення винесення пилю з поверхонь хвостосховищ <i>Тішина В. М.</i>	46
Забезпечення працівників, задіяних у процесі безперервного виробництва, додатковими турнікетами (правило трикутника) на ПАТ «Запоріжсталь» <i>Чернишов В. М.</i>	49
СЕКЦІЯ СТУДЕНТСЬКИХ ПРОЄКТІВ	
QUALITY ASSURANCE OF CAST FERTILIZER NICKEL ALLOYS <i>Bilionok D. I., Tomkin D. O., Naumyk O. O., Pedash O. O., Naumyk V. V.</i>	50
Передумови корпоративного навчання та розвитку Soft Skills <i>Кліменкова О. В., Стадник А. Г.</i>	54
Проблеми потрапляння важких металів у ґрунти від викидів металургійної промисловості та шляхи їх вирішення <i>Коробкіна Н. А., Накемпій О. К.</i>	56
Методи дослідження нестационарних електромагнітних процесів у потужних синхронних машинах <i>Корогод Д. М., Чаповський Б. А., Зіновкін В. В., Крисан Ю. О., Васильєва Є. В.</i>	60
Підвищення безпеки руху на залізничних переїздах <i>Кравченко Н. Ю.</i>	64
Дослідження електроприводу кранових механізмів на основі математичних моделей <i>Крисан С. О., Зіновкін В. В.</i>	66
Модифікування лопаток газотурбінних двигунів із жароміцного нікелевого сплаву <i>Кудін В. В., Бойчук Р. В., Кармазін М. О.</i>	72
Моделювання нестационарних електромагнітних процесів у трансформаторах спеціального призначення <i>Куніцин А. В., Панченко В. В., Зіновкін В. В., Крисан Ю. О., Третьяков А. О.</i>	75
Використання штучного інтелекту та машинного навчання в металургії <i>Логвиненко А. Г.</i>	79

**ОГЛЯД МЕТОДІВ СКОРОЧЕННЯ ВИНЕСЕННЯ ПИЛУ
З ПОВЕРХОНЬ ХВОСТОСХОВИЩ***Тішина В. М.*

*студентка магістратури, група 183-23-1м,
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"»
м. Запоріжжя, Україна*

Забруднення повітря пилом, що піднімається з поверхонь хвостосховищ, є однією з найважливіших екологічних проблем для промислових регіонів, таких як Криворізький басейн. Пил із хвостосховищ негативно впливає на здоров'я людей та стан природного середовища, може спричинити респіраторні хвороби, алергії та інші недуги, тому необхідне впровадження надійних методів для стабілізації пилових поверхонь.

Хвостосховища є інженерними спорудами, призначеними для складування та зберігання відходів збагачення корисних копалин. Вони часто мають великий об'єм, відкриті поверхні та значну висоту дамб, що сприяє поширенню пилу при сильному вітрі та високій температурі. Основними факторами, що впливають на пилоутворення, є кліматичні умови, фізико-хімічні властивості хвостів, а також структура і рельєф поверхні. Різні методи скорочення пилового винесення враховують ці особливості та застосовуються з урахуванням специфіки кожного хвостосховища.

Серед основних методів скорочення пилоутворення виділяються хімічні, біологічні та фізико-механічні підходи. Хімічні методи передбачають застосування різних хімічних речовин, які утворюють захисний шар на поверхні, запобігаючи винесенню пилу. Одним з таких методів є використання полімерних розчинів [3]. Полімери (акрилати, латекси) розчиняються у воді або органічних розчинниках та наносяться на поверхню хвостосховища за допомогою розпилювачів. Після висихання полімер утворює тонкий, але міцний шар, який утримує пил

ОХОРОНА ПРАЦІ

на місці. Полімерні розчини характеризуються швидким ефектом та доступністю, проте їх дія обмежена за часом та залежить від погодних умов. Бітумні емульсії, як ще один хімічний метод, утворюють надійний захисний шар, стійкий до атмосферних впливів, зокрема дощу, сонця та вітру [2]. Цей метод досить ефективний, але також є витратним, а утилізація бітумних матеріалів може призвести до екологічних проблем.

Біологічні методи включають використання рослинного покриття для природного закріплення пилових поверхонь. Для рекультивації поверхонь хвостосховищ використовують рослини, що можуть рости в умовах обмеженої вологості та бідного ґрунту [4]. Перевагами біологічних методів є екологічна безпека та тривалий ефект після повного укорінення рослин, але цей процес потребує значних ресурсів на підтримку рослинного покриття, особливо в період росту. Мульчування є ще одним біологічним методом, який полягає в покритті ґрунту органічними чи неорганічними матеріалами (солома, тирса або полімерні матеріали) [1]. Мульча зберігає вологу, захищає ґрунт від ерозії та сприяє росту рослин. Хоча мульчування є ефективним способом збереження вологи і захисту поверхні, воно потребує постійного оновлення, що підвищує загальну вартість методу.

Фізико-механічні методи також знайшли широке застосування для стабілізації пилових поверхонь хвостосховищ. Геотекстиль, який використовується для стабілізації ґрунтів, є синтетичним матеріалом, що укладається на поверхню хвостосховища і ефективно запобігає ерозії. Він має високу міцність і довговічність, але його вартість є значною, а для монтажу потрібні спеціальні навички та обладнання [2]. Альтернативним методом є гравійне покриття, яке захищає поверхню від ерозії і зменшує пиловиділення. Гравій легко наноситься і забезпечує тривалий захист, але є менш ефективним у порівнянні з геотекстилем та іншими синтетичними матеріалами.

Таким чином, основні методи скорочення пилового винесення з поверхонь хвостосховищ включають хімічні, біологічні та фізико-механічні підходи, кожен з яких має свої переваги

ОХОРОНА ПРАЦІ

та недоліки. Вибір методу залежить від особливостей хвостосховища, кліматичних умов, ресурсів та екологічних вимог. Використання комбінації методів, таких як хімічні стабілізатори, рослинний покрив та мульчування, забезпечує найбільш ефективний підхід до скорочення пилоутворення, що сприяє захисту довкілля та підвищує рівень екологічної безпеки промислових регіонів.

Перелік використаних джерел:

1. Домнічев М. В., Нестеренко О. В., Близнюкова О. Ю. Мульчування техногенних поверхонь для зменшення пилотворення. *Technical research and development : collective monograph*. 2021. С. 470.
2. Закріплення поверхонь хвостосховищ для пилопригнічення техноземів, забруднених промисловими відходами, способом вирощування сільськогосподарських культур, стійких до повітряної та ґрунтової посухи в умовах гострого дефіциту рухомих форм поживних речовин : науково-практичний посібник / С. М. Крамарьов, Л. П. Бандура, В. В. Гулін, В. М. Гулін. Дніпро : ТОВ підприємство «Дріант», 2020. 57 с.
3. Пашков А. П., Єсипенко А. С. Аналіз та критерії вибору під час розробки природоохоронних заходів на призупинених та припинених кар'єрах України. *Наукові розробки*. 2010. № 5. С. 7–14.
4. Тищук В. Ю. Закріплення пильних поверхонь на гірничих підприємствах з використанням біотехнологій. *Вісник Криворізького національного університету*. 2014. Вип. 37. С. 79–84.

48

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДІ



mp metinvest
polytechnic

СЕРТИФІКАТ

ТІШИНІЙ ВАЛЕРІЇ

ЗА УЧАСТЬ У 48-Й НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ
МОЛОДІЖНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»
У СЕКЦІЇ СТУДЕНТСЬКИХ ПРОЄКТІВ

Тарас ШЕВЧЕНКО
Генеральний директор
Запоріжсталі

Олександр ПОВАЖНИЙ
Ректор
Метінвест Політехніка

2024