

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра геології та екології

«Допускається до захисту»
В.о. завідувача кафедри,
к.т.н.

_____ *С.М. Панова*

«___» _____ 20__ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА**

тема:

**«АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПИЛОЗВ'ЯЗУЮЧИХ
РЕАГЕНТІВ ДЛЯ БОРОТЬБИ З ПИЛОМ В УМОВАХ ХВОСТОСХОВИЩ»**

Здобувач:

гр. ЗЕО-20

Захарова Юлія В'ячеславівна

Керівник:

доцент кафедри геології та екології,

к.т.н. Гацький А.К.

Кривий Ріг

2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Кафедра геології та екології

Заочна форма навчання
Перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри, кандидат технічних наук
С.М. Панова
«___» _____ 2024р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗАХАРОВА ЮЛІЯ В'ЯЧЕСЛАВІВНА**

Тема роботи: «Аналіз ефективності використання пилозв'язуючих реагентів для боротьби з пилом в умовах хвостосховищ»

Керівник роботи Гацький Анатолій Костнтинович
Старший викладач кафедри геології та екології, кандидат технічних наук
затверджені
наказом Криворізького національного університету від

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та обробка матеріалів	01.02.2024-15.03.2024	Виконано
2	Аналіз світового досвіду боротьби з пилом на хвостосховищах	16.03.2024-31.03.2024	Виконано
3	Оцінка ефективності використання різних способів закріплення	01.04.2024-30.04.2024	Виконано
4	Написання пояснювальної записки	01.05.2024-15.06.2024	Виконано

Засвідчую, що у роботі запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань не використовується.

Здобувач _____ Ю.В. Захарова

Керівник роботи _____ А.К. Гацький

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота містить: 42 ст., 2 табл., 6 рис., 11 літературних джерел.

Мета роботи: визначити найбільш ефективні методи закріплення поверхонь хвостосховищ для їх ефективного впровадження на промислових підприємствах України.

Об'єкт роботи: поверхні хвостосховищ, які продукують промисловий пил.

Предмет роботи: методи закріплення сухих поверхонь хвостосховищ.

У першому розділі визначено найбільш відомі способи створення стійких покривів на хвостосховищах. Серед представлених методів найбільш перспективними є застосування полімерів, неpolімерні органічні закріплювачі, ізоляція за допомогою геотекстилю та створення стійких рослинних угруповань.

Другий розділ присвячено методам скорочення пиління на автошляхах у межах діючих промислових об'єктів. Визначено, що найбільш актуальним способом є обробка поверхонь доріг спеціальними полімерними препаратами, що здатні скоротити кількість пилу в 10 та більше разів.

Третій розділ описує ефективність застосування різноманітних способів боротьби з пилом, їх переваги та недоліки. Виявлено значні розбіжності у якості закріплення та економічній ефективності застосування способів.

Ключові слова: полімерний реагент, хвостосховище, пил, промислові автошляхи, закріплення пилових поверхонь.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОПРИЙНЯТИХ СПОСОБІВ ЗАКРІПЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ХВОСТОСХОВИЩ.....	8
1.1. Полімери для закріплення поверхонь з пилоутворенням.....	10
1.2. Неполімерні закріплювачі.....	14
1.3. Ізоляція пилу за допомогою геотекстилю.....	16
1.4. Створення стійких рослинних угруповань.....	17
РОЗДІЛ 2. БОРОТЬБА З ПИЛІННЯМ НА ДІЮЧИХ ПРОМИСЛОВИХ ДОРОГАХ В МЕЖАХ ХВОСТОСХОВИЩ.....	22
2.1. Вибір реагенту для боротьби з пилом на промислових автодорогах.....	22
2.2. Методика виконання замірів ефективності дії реагенту.....	25
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОСОБІВ ЗАКРІПЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ХВОСТОСХОВИЩ.....	27
3.1. Закріплення поверхонь хвостосховищ полімерами.....	27
3.2. Закріплення промислових доріг на хвостосховищах.....	30
3.3. Створення суцільного покриття з бентонітових матів.....	36
3.4. Створення суцільного рослинного покриву.....	37
3.5. Порівняльна характеристика досліджених методів.....	38
ВИСНОВКИ.....	40
ЛІТЕРАТУРА.....	41

ВСТУП

Промисловий пил є однією з ключових проблем у сучасному виробництві, маючи значний вплив на здоров'я людей, навколишнє середовище та якість життя в цілому. Це невидима, але вельми небезпечна речовина, яка може мати серйозні наслідки, якщо не управляти її утворенням та поширенням.

Промисловий пил утворюється внаслідок процесів обробки та виробництва у промислових об'єктах. Основні джерела включають в себе металургійні заводи, цементні заводи, каменесинтетичні підприємства, шахти, будівельні майданчики та інші виробничі об'єкти. Процеси розмелювання, розтирання, різання, свердління та інші види обробки матеріалів призводять до утворення пилу у значних кількостях.

Промисловий пил, який виділяється у процесі переміщення великовантажної техніки дорогами підприємств є однією з найбільших проблем при видобутку та переробці корисних копалин. Утворений таким чином пил переноситься на великі відстані та спричинює потужний вплив на оточуюче середовище прилеглих територій, а головне – на живі організми та людину. Полив автодоріг водою є нетривалим вирішенням проблеми та потребує постійного повторення, що кличе за собою додаткові витрати часу та ресурсів. Особливо це спостерігається у літній період, під час підвищення середньої температури повітря та дорожнього покриття, коли висихання поверхні прискорене.

Промисловий пил містить різноманітні токсичні та канцерогенні речовини, такі як свинець, алюміній, силікати, азбест, важкі метали та інші шкідливі речовини. Вдихання пилу може спричинити серйозні проблеми здоров'я, включаючи захворювання дихальних шляхів, алергічні реакції, захворювання шкіри, хронічні захворювання легень та навіть ракові захворювання.

Крім того, промисловий пил може призвести до забруднення навколишнього середовища, забруднення ґрунту, водних джерел та атмосферного повітря. Він також може створювати проблеми для місцевого екосистеми, включаючи загибель рослин, тварин та вплив на біорізноманіття.

Промислові дороги, як і будь-яка інша інфраструктура виробничих об'єктів, піддаються утворенню пилу внаслідок різноманітних промислових процесів та діяльності. Пил на промислових дорогах може мати різні джерела та виникати з різних причин, а його наслідки можуть бути значними як для працівників, що працюють на цих дорогах, так і для навколишнього середовища.

Важливо проводити науково-дослідну роботу та розробляти нові, більш екологічно чисті технології та матеріали для виробництва, які мінімізують утворення промислового пилу на усіх етапах виробництва та зменшують його вплив на здоров'я і навколишнє середовище.

Управління пилом на промислових дорогах вимагає комплексного підходу та спільних зусиль з боку підприємств, владних органів та інших зацікавлених сторін. Запобігання утворенню та поширенню пилу допоможе забезпечити безпеку працівників, зберегти навколишнє середовище та зберегти якість інфраструктури промислових об'єктів.

Мета роботи: визначити найбільш ефективні методи закріплення поверхонь хвостосховищ для їх ефективного впровадження на промислових підприємствах України.

Завдання роботи:

1. Вивчити існуючі найбільш вживані та альтернативні методи закріплення поверхонь промислових об'єктів;
2. Визначити та порівняти ефективність і доцільність використання різних методів закріплення;
3. Дослідити можливість та ефективність використання існуючих методів для умов хвостосховищ м. Кривий Ріг.

Об'єкт роботи: поверхні хвостосховищ, які продукують промисловий пил.

Предмет роботи: методи закріплення сухих поверхонь хвостосховищ.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОПРИЙНЯТИХ СПОСОБІВ ЗАКРІПЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ХВОСТОСХОВИЩ

Боротьба з промисловим пилом залишається однією з найважливіших проблем сучасності в індустріальних регіонах. Процеси виробництва у різних сферах передбачають утворення твердих відходів, які складуються у відвали, штабелі, хвостосховища тощо. Сформовані таким чином нові техногенні ландшафтні комплекси являють собою складні інженерні споруди та становлять небезпеку для оточуючого середовища внаслідок виділення з їх поверхні пилу. Попередження пиління таких утворень є складним процесом через рельєфні особливості техногенних ландшафтів, як на їх схилах, так і на пласких поверхнях.

Важливою умовою ефективного закріплення поверхонь промислових ландшафтів є витривалість утвореного полімером, або іншим закріплювачем, шару до руйнування від несприятливих погодних умов, фізико-хімічних та механічних ушкоджень.

Крім поверхонь пиловиділення на діючих хвостосховищах потужним джерелом викидів пилу є промислові автодороги, якими рухається автотранспорт з вантажем.

Ефективне закріплення поверхонь промислових автодоріг вимагає стійкості утвореного покриття до зовнішніх фізичних та механічних впливів. Перш за все, покриття повинно відмінно переносити механічне навантаження від великовантажних автомобілів, які користуються цією дорогою. Другим важливим аспектом є стійкість до негативних погодних умов, таких як сильні вітри зі швидкістю понад 5 м/с та руйнування захисного шару під впливом інтенсивних опадів, таких як зливи чи град.

Враховуючи зазначені чинники, отримане покриття має задовольняти наступні вимоги:

1. Забезпечення довгого часу сушіння обробленої поверхні є ключовою умовою для ефективного закріплення промислових автодоріг.
2. Важливо, щоб після повного висихання покриття його властивості залишалися незмінними.
3. Покриття має бути стійким до впливу сильних вітрів.
4. Необхідно забезпечити стійкість до інтенсивних атмосферних опадів, включаючи заходи проти змивання.
5. Матеріали повинні витримувати механічне навантаження, щоб покриття залишалось надійним.
6. Вибраний препарат повинен бути дуже ефективним, досягнувши показник не менше 90%.

Серед найбільш поширених способів закріплення поверхонь що пилять слід виділити наступні:

1. Закріплення поверхонь пилоутворення за допомогою полімерів.

- закріплення дорожніх покриттів при роботі великовантажної техніки;
- закріплення придорожніх ділянок та схилів для стабілізації і захисту від ерозійних процесів.

2. Біологічне закріплення за допомогою гідропосіву.

- здійснення попередньої обробки ділянки та нанесення додаткового потенційно родючого шару ґрунту;
- індивідуальний підбір видів рослин в залежності від типу субстрату для створення стійких флористичних угруповань;
- підбір додаткових ґрунтопокрощуючих компонентів (мульчі), мікроелементів та добрив.

3. Перекриття поверхні бетонними матами.

- покриття поверхонь будь-якої складності, де недоступне використання інших технологій;
- покриття крутих схилів.

1.1. Полімери для закріплення поверхонь з пилоутворенням.

Сучасна хімічна промисловість на основі наукових досліджень останніх десятиріч пропонує достатньо різноманітних рішень щодо попередження та нівелювання виділення пилу з хвостосховищ та інших промислових об'єктів. Найбільш широке використання отримали полімерні реагенти, сольові розчини з використанням мінеральних солей, а також органічні препарати.

GRT: Enviro Binder – полімерний реагент, розроблений у Австралії. Він проникає в ґрунт, з'єднується з ним і утворює складну взаємопов'язану структуру з вільними гранулярними частинками поверхні. Після того, як полімер висихає, утворюється міцний поверхневий, водонепроникний шар, який зв'язує поверхню та запобігає ерозії.

Нетоксичний та екологічно чистий, GRT: Enviro Binder може бути застосований у найбільш екологічно чутливих зонах, де гарантується дуже низький вплив на середовищні цінності протягом до 12 місяців. GRT: Enviro Binder був незалежно протестований та широко використовується у великій кількості проектів у різноманітних середовищах. В тому числі даний реагент був використаний на території підприємств Кривого Рогу, Маріуполя, Кам'янського, Запоріжжя та інших міст України.

Ефективний термін захисту від ерозії зазвичай становить 6 місяців, але у деяких випадках продукт демонстрував свою ефективність протягом 18-24 місяців.

Застосування:

GRT: Enviro Binder розводиться у пропорції (1:9) у воді, а потім розпилюється на поверхню матеріалу за допомогою автомобільного або ручного розпилювача. Екологічно чистий, міцний та довговічний полімер використовується для запобігання ерозії на відкритих схилах та в областях, що піддаються ризику ерозії під дією дощу та стічних вод.

Місця концентрованого стоку води, такі як канали (стічні канали або дорожні канами), ефективно обробляються за допомогою нанесення декількох шарів реагенту або застосування зменшеної концентрації розчину.

Продукт також зменшує ризик вітрової ерозії та подальшого утворення пилу практично до нуля.

Області застосування:

1. Вирізані або насипні схили;
2. Захист насипних дамб;
3. Склади та загородження;
4. Канали та штучні береги.

Основні переваги GRT: Enviro Binder:

1. Нетоксичний та екологічно чистий продукт, безпечний для наземної та водної флори і фауни (сільськогосподарських тварин, риби, птахів).
2. Ефективний одразу після нанесення, зв'язує ґрунт, запобігаючи виділенню пилу та поверхневій ерозії на будь-якій відкритій поверхні, включаючи рівні поверхні та схили.
3. Підтримує ріст насіння та рослин, утворюючи матричні зв'язки всередині ґрунту, агрегуючи ґрунтові частки, що дозволяє відбуватися росту, зберігаючи при цьому свої властивості з протиерозійного та пилрозахисного призначення на довгострокову перспективу.
4. Не потрібна підготовка ґрунту перед нанесенням продукту.
5. Вигідність результатів – після оцінки витрат ефективність (GRT: Enviro-Binder) дозволяє підприємствам зменшити ризики для безпеки та навколишнього середовища, заощадити час і в кінцевому підсумку заощадити витрати на інші потенційні продукти.
6. Безпечне нанесення – розпилюється безпосередньо на поверхню, що відсікає необхідність для персоналу установки будь-якого захисту або покриття на нахилених поверхнях.
7. Водонепроникний продукт, який не вимивається дощем або штормовими катаклізмами.

8. Реагент підходить для вирішення проблем ерозії та пиловиділення в найбільш екологічно чутливих зонах.

Stabilpave – це міцний акриловий кополімер, який зазвичай використовується у розведеному вигляді з водою для різних застосувань, таких як контроль пилу та ерозії, а також стабілізація ґрунту. Продукт характеризується довгими ланцюгами молекул полімеру, які глибоко проникають у поверхню, що призводить до довговічної та міцної фіксації поверхні. Це ефективно запобігає викидам часток, таких як РМ 10 і РМ 2.5, в повітря, сприяючи покращенню якості повітря. Після нанесення *Stabilpave* спочатку має білий колір, але коли висихає стає прозорим, зберігаючи природний вигляд поверхні, на яку його нанесено.

Однією з ключових особливостей *Stabilpave* є його витрималість, оскільки він не використовує нафтові емульсії. Він призначений для нанесення в існуючий ґрунт або наповнювач, пропонуючи гнучку систему покриття. Оброблений шар набуває виняткової міцності, що підходить для різних застосувань, з рекомендованою товщиною від 5-6 см для велосипедних і пішохідних доріжок до 9-10 см для під'їзних доріг та доріжок.

Після інтеграції в ґрунт *Stabilpave* створює водонепроникну та еластичну матрицю, значно підвищуючи міцність обробленої області. Ця трансформація підвищує якість покриття з утворенням міцної, захищеної від видування пилу поверхні. *Stabilpave* пропонує універсальне рішення для підвищення міцності, стійкості та продуктивності поверхонь, які піддаються різним екологічним впливам.

Переваги Stabilpave:

- *Значно зменшує вміст часток в повітрі (РМ 10 та РМ 2.5):*
Допомагає значно зменшити викид шкідливих часток в повітря, сприяючи покращенню якості повітря.
- *Довгострокова продуктивність:* Забезпечує стійкість та тривалість поверхні, зменшуючи частоту обробки та обслуговування.

- *Гладка поверхня без пилу:* Забезпечує постійно гладку та безпилу поверхню протягом тривалого часу, підвищуючи комфорт та безпеку людей.
- *Стабілізує поверхню:* Поверхня стійка до зсувів, руйнування та провалів, зберігаючи структурну цілісність з часом.
- *Максимальна стійкість до погодних умов:* Витримує різні погодні умови, включаючи вітер, дощ, ультрафіолетове випромінювання тощо, забезпечуючи стійкість та тривалість покриття.
- *Використовує місцеві ґрунти:* Зменшує потребу у зовнішніх матеріалах, використовуючи існуючі ґрунти для стабілізації.
- *Реконструкція нестійких, неасфальтованих доріг:* Пропонує ефективне рішення для модернізації та стабілізації неасфальтованих доріг.
- *Зберігає природний колір та проникнення води у субстрат:* Не змінює колір або швидкість проникнення води у ґрунт, зберігаючи його природні характеристики.
- *Вигідна альтернатива асфальту:* Забезпечує вигідне рішення для будівництва та стабілізації доріг у порівнянні з традиційними методами асфальтування в умовах промислових підприємств.
- *Створює світліші поверхні:* Поверхні, оброблені Stabilpave, не поглинають так багато тепла, зменшуючи нагрівання порід.
- *Використовує екологічно чисті продукти:* Використовує екологічно чисті продукти, добуті на основі сталого розвитку, що зменшує вплив на довкілля.
- *Розчиняється у воді:* Легко розчиняється у воді для зручного нанесення.
- *Не потребує прибирання після нанесення:* Не потребує прибирання після нанесення, що забезпечує зручність в експлуатації.

1.2. Неполімерні закріплювачі.

Закріплюючий розчин на основі сирого сульфатного мила був використаний на деяких відвалах та хвостосховищах ГЗК України. Це був розчин, який містив сире сульфатне мило, що є побічним продуктом при виробництві сульфатного лугу з целюлози. Однією з переваг цього розчину була можливість використання вітчизняної сировини.

Суміш сирого сульфатного мила з водою у різних концентраціях (від 5% до 25%) забезпечувала зменшення пиління на 99,4-100% при оптимальних умовах. Найкращий результат у закріпленні хвостів було досягнуто при витратах 4-5 літрів на квадратний метр з можливістю збереження стійкості закріплення протягом 15 днів. Проте, згідно з інформацією від ГЗК, збільшення витрат не призводило до подовження терміну стійкості закріплення. Термін ефективності сирого сульфатного мила був порівняно невеликим, близько 15-20 днів, що зумовлювало збільшення витрат при його використанні для закріплення поверхонь на сміттєзвалищах та відвалах.

До недоліків сирого сульфатного мила можна також віднести складність транспортування та необхідність спеціальної підготовки перед використанням. Для приготування розчину потрібне відповідне обладнання та спеціальна підготовка персоналу. Крім того, розчин сирого сульфатного мила містив значну кількість води, тому не міг бути використаний восени та взимку. На сьогодні також виникали певні складності з постачанням цього засобу.

Карбомідна смола. Перед процесом закріплення поверхонь покриттям на основі карбомідної смоли необхідно підготувати розчин смоли. Для цього з складу загального розчину відділеної ємності з смолою через дозатор вона подається в спеціальний резервуар. Далі вода додається до резервуару до того моменту, поки співвідношення об'ємів смоли і води не стане 1:1. Після цього розчин перемішується протягом 15 хвилин до повного розчинення смоли.

Для закріплення нахилів гребель рекомендується використовувати більш концентрований розчин карбомідної смоли КФ-МТ. Початкові

компоненти готуються аналогічно, але при розчиненні смоли у воді відношення об'ємів смоли і води повинно бути 2:1, а концентрація розбавленої соляної кислоти повинна бути 0,5%.

Проте, цей метод не може бути рекомендованим для впровадження в місцевих умовах через потребу у спеціальному обладнанні (що призводить до додаткових витрат) та використання кислоти (що може призвести до проблем при неправильному зберіганні та потребує спеціально навченого персоналу).

К-9. Для приготування розчину препарату К-9 на універсальному розчинному вузлі застосовується така технологічна послідовність: спеціальні розчинні ємності використовуються для насосного закачування вмісту в ємність дозування, а звідти в резервуари. Одночасно в резервуар подається вода, при цьому співвідношення маси полімеру і води становить 1:19.

Розчин перемішується циркуляцією з резервуару в резервуар протягом не менше однієї години. Важливою особливістю цього розчину є те, що він не розшаровується і може зберігатися тривалий час.

Однак, недоліком цього методу є потреба у порівняно складному спеціальному обладнанні та неможливість використання полімеру при низьких температурах повітря.

Глиниста суспензія. За рекомендаціями, закріплення пляжів хвостосховищ глинистим розчином проводиться при позитивних температурах, з витратою розчину 3-3,5 літра на квадратний метр поверхні.

Недоліками цього методу є неможливість використання його взимку через негативний вплив низьких температур, порівняна складність виготовлення розчину та необхідність спеціального обладнання як для приготування розчину, так і для його нанесення на піщані поверхні.

Шахтні води. Зазвичай, шахтна вода використовується на виробництві для технологічних потреб, допоміжного виробництва, господарсько-побутових та питних потреб. Серед технологічних потреб води є пилопригнічення та протипожежний захист. При розрахунках норм споживання води для боротьби з пилом враховується витрата води на

зрошення в процесі виїмки, проходження підготовчих виробок, транспортування гірничої маси, нагнітання води в пласт, встановлення водяних завіс, а також на допоміжні виробничі операції.

У деяких випадках високомінералізовану шахтну воду можна використовувати для додавання до різних композицій, призначених для короткотермінового закріплення пилячих поверхонь.

Аналізуючи характеристики різних закріплювачів, можна виявити недоліки, які ускладнюють їх ефективне використання для закріплення поверхонь хвостосховищ. Також важливо враховувати потребу в нанесенні розчину дистанційно (без заїзду безпосередньо на поверхню карт хвостосховища з урахуванням вимог безпеки) і можливість застосування готових розчинів без побудови спеціальних ділянок для виготовлення сумішей.

1.3. Ізоляція пилу за допомогою геотекстилю.

Бентонітові мати (Voltex, Actitex) – високоефективний гідроізоляційний бентонітовий матеріал, що складається з трьох компонентів: тканина, нетканий матеріал з поліпропілену та шар бентонітового грануляту СЕТСО.

Принцип дії матеріалу базується на властивості натрієвого бентоніту у повній гідратації розбухати та збільшувати свій об'єм у 14-16 разів. При обмеженні вільного простору для розбухання, в присутності води, утворюється напружений стан у структурі натрієвого бентоніту, що характеризується низькою водопроникністю.

Однорідність покриття досягається за допомогою процесу сполучення матів за допомогою голок. Процес полягає в тому, що волокна знизу нетканого матеріалу, захоплені спеціальними голками, перетягуються через шар бентоніту через тканину, що забезпечує взаємне з'єднання геотекстильних матеріалів та стиснення бентоніту.

Нетканий шар поліпропілену, що розташовується на захищеній поверхні зі сторони вологи, пропускає вологу, в результаті чого утворюється гель. Під тиском, що виникає всередині каркасу, гель може видавлюватися на поверхню бетону через тканину, "заліковуючи" пошкодження конструкції – невеликі тріщини, щілини і т.п. Використання бентонітових матів дозволяє створити надійний "глиняний замок" навколо захищеного споруди.

Бентонітові мати– це відмінна активна гідроізоляція для всіх елементів підземних будівельних конструкцій.

Застосування:

- Ізоляція пласких і похилих поверхонь техногенних об'єктів усіх типів.
- Гідроізоляція схилових поверхонь з будь-яким кутом нахилу.
- Гідроізоляція позитивних та негативних елементів мікрорельєфу.

Переваги матеріалу:

- Бентонітовий мат відрізняється властивістю самозаповнення (здатний "залікувати" сам себе).
- Мінімізується попередня підготовка поверхні.
- На вертикальних поверхнях матеріал прибивається дюбелями до вихідного матеріалу; на горизонтальних поверхнях він кладеться з невеликим перекриттям шарів.
- Можна вкладати мат на різноманітні типи поверхонь: ґрунт, щебінь, пісок тощо.
- Не втрачає ізоляційних властивостей з плином часу.
- Можливе застосування за будь-яких погодних умов.

1.4. Створення стійких рослинних угруповань.

Застосування гідропосіву є одним з найперспективніших та дієвих способів озеленення, а також закріплення поверхонь пиловиділення, утворених в результаті дії антропогенного фактору. Метод дозволяє суттєво

пришвидшити процес заростання порушених ділянок та сформувати рівномірний суцільний рослинний покрив. Створений таким чином покрив не тільки виконує функцію попередження виділення пилу з поверхні, але і сприяє накопиченню органічних речовин у порушених субстратах, що в свою чергу прискорює процес їх еволюції до ґрунтів, формує базис для поселення нових видів рослин та розвитку повноцінних фітоценозів.

Ефективність закріплення поверхні хвостосховища знаходиться у прямій залежності від густини травостою у фітоценозі, тому необхідною умовою є створення суцільного рослинного покриву. Основним ускладненням при створенні суцільного рослинного покриву на техногенних субстратах хвостосховищ є їх фізичні та хімічні параметри, а саме гранулометричний склад, щільність та структурність субстрату, вміст основних макроелементів живлення.

Субстрати хвостосховища за ступенем ущільнення класифікуються як нещільні, безструктурні. За гранулометричним складом домінує піщана фракція, яка представлена крупним та дрібним піском та загалом складає більше 85%. Високий вміст піщаної фракції сприяє швидкій фільтрації вологи крізь товщу субстрату та призводить до його швидкого висихання.

У хімічному аспекті відмічається низький вміст основних елементів живлення рослин – азоту, фосфору та калію – порівняно з природними ґрунтами. Крім того, субстрати хвостосховищ характеризуються підвищеним вмістом легкорозчинних солей, які чинять токсичну дію на більшість видів рослин.

Такі фізико-хімічні показники хвостових субстратів збільшують терміни їх самозаростання, звужують асортимент рослин, придатних для вирощування на хвостосховищах.

Вибір асортименту рослин.

Для створення стійких угруповань на поверхні хвостосховищ необхідно ретельно підібрати асортимент рослин, витривалих до умов хвостосховища, які здатні існувати на сухих піщаних субстратах, є стійкими до постійного

дефіциту вологи та поживних речовин, підвищеного вмісту солей та карбонатів у ґрунтах, високої інтенсивності сонячного освітлення. Крім того, основними вимогами до рослин є здатність швидко нарощувати потужну біомасу та формувати суцільний рослинний покрив, тобто, забезпечити виконання основної мети впровадженого заходу – зниження або повне припинення виділення пилу з сухих поверхонь пляжів хвостосховища.

Виходячи з вищесказаного нами проаналізовано досвід використання рослинності для попередження пиління хвостів в Україні та світі, а також досліджено геоботанічні характеристики деяких видів рослин, які є найбільш перспективними для озеленення хвостів збагачення.

На основі отриманих даних у якості найбільш придатних для використання саме для хвостосховищ Кривого Рогу відібрані наступні види: Просо (*Panicum* sp.); Суданська трава або Сорго трав'янисте (*Sorghum bicolor* subsp. *drummondii*); Жито посівне (*Secale cereale* L.); Еспарцет пісковий (*Onobrychis arenaria* (Kit.) DC.).

Просо (*Panicum*) – однорічна трав'яниста рослина родини злакових. Характеризується стійкістю до надмірного освітлення, посухи та дії високих температур понад 35-40°C. Також рослина пристосована для зростання у піщаних та супіщаних субстратах.

Суданська трава або Сорго трав'янисте (*Sorghum bicolor* subsp. *drummondii*) – однорічна рослина роду сорго (*Sorghum*), родини тонконогових (Poaceae). Теплолюбна посухостійка рослина, яка займає перше місце серед однорічних тонконогових трав за рівнем приросту біомаси та врожайністю.

Жито посівне (*Secale cereale* L.) – однорічна культура, широко поширена у сільському господарстві. Жито не вимогливе до вологи, добре переносить весняні та літні посухи. Серед озимих культур озиме жито характеризується найвищою морозостійкістю. У безсніжні зими воно легко витримує морози до мінус 25 °C. Крім того, жито успішно використовувалось при закріпленні сухих пляжів хвостосховищ Кривбасу, зокрема, хвостосховища ВАТ «ЦГЗК»,

але при висіванні сіялкою не була забезпечена необхідна густина травостою, необхідна для повного припинення пиління.

Еспарцет пісковий (Onobrychis arenaria (Kit.) DC.) – рослина переважно прив’язана до лучних оселищ, але добре переносить посуху, може існувати в умовах піщаних субстратів, морозостійкий. Не потребує високої кількості поживних речовин у ґрунті.

Підбір ґрунтопокрощуючих компонентів.

У якості якісного ґрунтопокрощуючого компоненту доцільно використовувати органічні та мінеральні добрива, а також органічні продукти, наприклад мульчу. Найбільш перспективним варіантом для озеленення хвостосховищ на нашу думку є мульча Flexterra High Performance-Flexible Growth Medium (HP-FGM). Мульча являє собою суміш органічних компонентів – подрібнених решток деревини, та є екологічно безпечною. Нанесена на поверхню техногенного субстрату, Flexterra вкриває 100% поверхні та створює продуктивну органічну основу для проростання і розвитку насіння, утримує вологу і корисні сполуки, необхідні для росту та розвитку рослин, особливо на ранніх стадіях онтогенезу.

Додатковими компонентами можуть слугувати органічні та мінеральні добрива, що складаються з основних елементів органічного та мінерального живлення рослин – азоту, фосфору та калію.

Технологія озеленення за допомогою даного методу передбачає застосування способу гідропосіву з попереднім змішуванням насіння рослин та ґрунтопокрощуючої суміші з водою і розпилення їх за допомогою автотранспорту з використанням насосів або pomp.

Використання матеріалу Flexterra HP-FGM або аналогічних засобів забезпечує «миттєвий» ефект формуючи рівномірну плівку на поверхні субстрату, яка попереджає виділення пилу ще до появи проростків насіння (Фото 1.1).

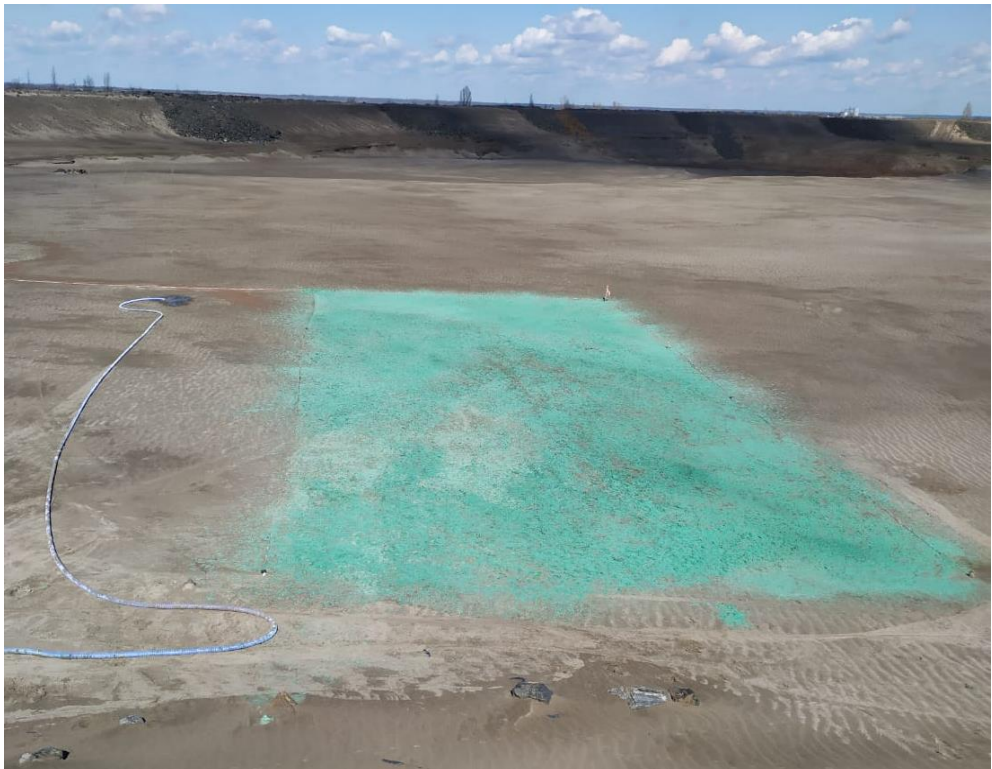


Фото 1.1. Ділянка хвостосховища, оброблена за методом гідропосіву.

РОЗДІЛ 2

БОРОТЬБА З ПИЛІННЯМ НА ДІЮЧИХ ПРОМИСЛОВИХ ДОРОГАХ В МЕЖАХ ХВОСТОСХОВИЩ

2.1. Вибір реагенту для боротьби з пилом на промислових автодорогах.

Недоліком експлуатації автомобільних доріг різних конструкцій і типів є їхня спроможність утримувати тонкодисперсний пил за рахунок шпаруватої й шорсткуватої поверхні. Цей недолік властивий значною мірою для технологічних щебневих і ґрунтових шляхів. З іншого боку, присутність пилу є обов'язковою умовою, тому що він виконує роль зв'язуючого матеріалу між кістяковими зернами щебеневої суміші.

Знепилення автодоріг має здійснюватися з урахуванням ряду факторів, зокрема:

- рух великовантажного автотранспорту з вантажопідйомністю до 100 т і вище приводить до тиску у матеріалі конструктивних шарів дорожнього полотна, як наслідок, до руйнування агрегатів між зернами щебнів, утворенню нових поверхонь часток і збільшенню випаровування вологи. До того ж подібна взаємодія між автомобілями й структурою дорожнього покриття із щебнів призводить до місцевого утворення пилу;
- нагромадження різнорозмірного й полімінерального пилу відбувається не лише при стиранні щебнів і руйнуванні колесами автомобілів, але й за рахунок регулярного його осідання з повітряних потоків;
- у повітря піднімаються переважно частки з вільним діоксидом кремнію, що мають зменшену питому вагу.

При виборі речовин що пристосовані для зв'язування дорожнього пилу необхідно виходити з таких критеріїв:

- оцінки взаємодії реагенту з мінеральними частками, які складають пил: характеристики їх змочування, здатності фіксувати пил в агрегатному стані, коагуляція поверхні його часток у вологому стані;
- здатності зберігати поверхню у вологому фазовому стані протягом
- тривалого періоду;
- дотримуватись норм санітарної й пожежної безпеки, бути неагресивним та неабразивним стосовно техніки і біоти;
- технологія закріплення поверхонь автодоріг на основі хімічних речовин повинна мати економічну і технічну доцільність.

Роботи, направлені на боротьбу з промисловим пилом на автошляхах ведуться інтенсивно як в Україні так і в усьому світі. Пошук результативного рішення цього питання вимагає врахування аспектів не лише екологічної безпеки, але й економічних показників [5, 11].

Дослідження ефективності використання препарату «Лексол» 5 [1] показало, що реагент дає високу ефективність на межі 85% лише одразу після покриття поверхні дороги. З часом, у процесі висихання, результативність щодо пилопригнічення суттєво зменшується та в середньому показнику становить всього 21%, що є далеко не оптимальним результатом.

У роботі англійських вчених [2] розглянуто ефективність використання засобів для боротьби з запиленням від автодоріг в межах міста Лондон за допомогою пиловз'язуючих речовин. Незважаючи на порівняно високу ефективність зазначеного методу слід відмітити, що інтенсивність виділення пилу з автошляхів з твердим покриттям, навіть в умовах інтенсивного руху транспорту в містах, суттєво відмінна від аналогічного показника в умовах промислових автошляхів. Також суттєва відмінність умов полягає у великій вазі автомобілів, що рухаються промисловими дорогами та транспортують великовагові вантажі.

У роботі німецьких вчених [3] вивчено можливість впровадження для закріплення пилових поверхонь індустриальних доріг розчинів мінеральних солей. Ефективність застосування зазначеного способу зберігається лише при постійному зволоженні поверхні автодороги, а за умови пересихання інтенсивність виділення пилу знову підвищується.

Також вивчена можливість застосування у якості закріплюючої речовини хлориду кальцію [4]. Результативність такого методу на рівні 50-60%.

Ефективність використання при закріпленні поверхонь промислових доріг екологічно «дружніх» матеріалів, наприклад, ксантанової гуми та лігносульфонату кальцію досліджено у роботі Xingyun Guo [6]. Виявлено усереднену ефективність означених матеріалів з показниками 66,7% та 48,6% відповідно.

Спеціалісти у сфері боротьби з пилом на автошляхах без твердого покриття загалом пропонують декілька основних методів: нанесення розчинів мінеральних солей, нанесення полімерних пилов'язуючих реагентів, зменшення швидкості та кількості транспортних засобів на ділянках дороги; покриття поверхні дороги гравієм з наступним постійним зволоженням [7-10].

Серед найбільш перспективних рішень щодо боротьби з пилом на промислових дорогах найбільшу ефективність проявляють полімерні засоби. Зокрема на підприємствах Кривого Рогу впродовж останніх років було використано реагенти GRT: «Haul loc» та «Wuvio».

Препарат GRT: «Haul loc» – це полімер на основі акрилової кислоти, виготовлений спеціально для потреб гірничодобувного та ресурсного промислових секторів, може застосовуватися з використанням широкого спектру різновидів поливальних машин, або інших типів розприскувачів. Після змішування з водою реагент утворює розчин, який при потраплянні на поверхню промислових автошляхів зв'язує та коагулює пилові частки, утворюючи таким чином потужний захисний шар, що є стійким до постійного

багаторазового проходження важкої техніки, вітрової ерозії та механічних пошкоджень при дії інтенсивних атмосферних опадів.

Реагент «Wuvio» – розчин для зв'язування дорожнього пилу який являє собою біологічно розкладну добавку, яка зв'язує пил практично у будь-якому типі ґрунту, включаючи дороги з твердим покриттям. Нанесений на поверхню реагент стабілізує її і поглинає нові частинки пилу.

Заявлені виробником переваги:

- попереджує виділення пилу на асфальтованих і ґрунтових дорогах, таким чином покращуючи безпеку дорожнього руху;
- перетворює та стабілізує верхній ґрунт на ґрунтових дорогах, зменшуючи ерозію;
- зменшує витрати на технічне обслуговування, мінімізуючи погіршення стану ґрунтових доріг до 50%;
- значно знижує споживання води завдяки тому, що нанесена речовина залишається активною протягом тривалого часу;
- легко наноситься, можна розпилювати більшістю існуючого обладнання.

2.2. Методика виконання замірів ефективності дії реагенту.

Контроль ефективності пилопригнічення має здійснюватися протягом всього періоду реалізації робіт. Перший контрольний замір має бути проведений після насичення дорожнього покриття реагентом та досягнення концентрації, необхідної для забезпечення ефективності пилопригнічення. Ефективність пилопригнічення оцінюється за двома показниками:

1. Вимірювання рівня запиленості у момент руху по обробленій ділянці вантажних транспортних засобів з вантажем, при інтенсивності руху 10-12 одиниць на годину. Аналогічне вимірювання повинно проводитись на ділянці дороги, яка не була оброблена жодним пилопригнічуючим реагентом – контрольній ділянці. Третє вимірювання доцільно провести на ділянці, де відсутній рух будь-яких транспортних засобів для дослідження фонові

концентрації пилу у повітрі, піднятого з поверхні оточуючої території дією вітру, щоб виключити імовірну похибку у вимірюваннях. Слід зважати на те, що вимірювання мають виконуватися за ідентичних погодних умов. Періодичність вимірювань має становити у перший місяць виконання робіт – на 10 або 20 днів, за довготривалої обробки можна скоротити періодичність до одного разу на місяць; тривалість кожного вимірювання залежить від типу вимірювальних приладів, але повинна становити не менше 30 хвилин, відповідно, за відведений час через точку зі встановленим приладом має пройти на менше 5-6 автомобілів з вантажем. Разом з даними запиленості у результатах досліджень обов'язково надаються також дані погодних умов у момент заміру – температура, швидкість і напрямок вітру.

Для контролю запиленості доцільно використовувати повірені високоточні прилади, наприклад електроаспіратори ASA-2М або аналогічні за точністю, а також метеометр МЕС-200А.

2. Візуальний контроль утворення пилу у момент пересування по обробленій та необробленій ділянках важких вантажних транспортних засобів з вантажем з фото та відео фіксацією. Здійснення візуального контролю також має виконуватись за ідентичних погодних умов і покликане візуалізувати результат дії реагенту. За умови високої ефективності дії зв'язуючого препарату візуальна відмінність інтенсивності виділення пилу буде більш помітною. Періодичність візуального контролю має за можливості співпадати з періодичністю інструментального вимірювання інтенсивності запилення.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОСОБІВ ЗАКРІПЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ХВОСТОСХОВИЩ

3.1. Закріплення поверхонь хвостосховищ полімерами.

Серед найбільш ефективних способів тимчасового закріплення найбільш дієвим є закріплення полімерними реагентами. Серед представлених у продажу реагентів слід відмітити ті, що вже пройшли випробування на території хвостосховищ Кривого Рогу та інших промислових об'єктах України.

До таких реагентів відносяться GRT «Enviro-Binder» (Австралія) та «Stabilpave» (Італія).

Також проводились випробування ефективності застосування для попередження утворення пилу піноутворювачів «Софір» та «Оріон». За рахунок високої здатності до просочування і фільтрації у субстрат, вони здатні проникнути углиб ґрунту на 20-30 мм склеюючи агрегати між собою та утворюючи щільне покриття.

Для здійснення закріплення поверхні концентрований реагент змішується з водою у певній пропорції утворюючи робочий розчин. Регулюванням співвідношення води та реагенту у робочому розчині можна варіювати термін закріплення поверхні, який може становити від 3 до 36 місяців.

Контроль за ефективністю здійснення закріплення за допомогою вимірювальних приладів типу аспіраторів тощо, є неінформативним через великий обсяг вторинного пилу що надходить з прилеглих ділянок. Тому ефективність закріплення поверхонь полімерами найчастіше оцінюють за здатністю утворювати захисну кірку на поверхні заскладованих хвостів.

Відповідно, найбільш важливими у такому випадку стають фізико-механічні властивості покриттів, а саме:

Товщина плівки – впливає на експлуатаційні якості покриття і визначає витрату матеріалу. Для вимірювання товщини плівок які містять метали (наприклад, алюміній) використовується пристрій, що працює за принципом вихрових струмів. Деякі прилади контролю якості дозволяють визначити товщину як на металомісткій, так і на неметалевій плівці.

Міцність при ударі є показником здатності покриття витримувати ударні впливи (наприклад, удар молотка, металевого шару тощо). Удар з боку покриття оцінюється як прямий удар, з боку підстилаючого матеріалу — як зворотний удар. Обидва методи використовуються для оцінки ударостійкості покриттів. При такому випробуванні важливими факторами є товщина і еластичність плівки, для отримання надійних результатів вони повинні контролюватися.

Тест на гнучкість визначає здатність покриття протистояти згину підстилаючого матеріалу. Гнучкість перевіряється шляхом згинання пластинки з покриттям навколо конічної основи. Найменший діаметр, при якому не відбувається розтріскування, є значенням гнучкості для покриття при визначеній товщині плівки.

Адгезія визначає силу зчеплення між плівкою та підстилаючим субстратом. Вона значно залежить від правильного вибору та проведення попередньої обробки поверхні, а також від умов формування покриття. Величина адгезії впливає на такі властивості покриття, як ударостійкість, гнучкість, стійкість до зовнішніх впливів та корозія. Адгезію можна оцінити декількома різними методами. Найбільш поширеним є метод поперечних надрізів. Робляться решітчасті надрізи по всій поверхні покриття. Адгезію оцінюють за здатністю квадратів плівки залишатися на субстраті або відшаровуватися разом з плівкою. Цей метод дуже швидкий, але дозволяє лише відносно судити про адгезію. Результати дослідження виражаються в балах.

Твердість – це здатність покриття протистояти утворенню подряпин, зношуванню і т.д. Найбільш поширеним методом є вимірювання твердості за

допомогою олівця. Олівцеві грифелі зростаючої твердості вдаються в покриття під кутом 45° до тих пір, поки плівка не буде прошкрябана або на ній не утвориться слід. Твердість виражають номером найтвердішого грифеля, який не прошкрябує покриття і не утворює на ньому сліду.

Стійкість до зношування є ще одним показником, який допомагає визначити здатність покриття протистояти механічному пошкодженню. Зазвичай стійкість до зношування вимірюється за допомогою установки абразивної дії. Цей пристрій контролю якості спричиняє зношування покриття, коли плівка з покриття контактує з рухомими абразивними кілками або стрічкою певної твердості. Результати випробування виражають у вигляді втрати маси покриття за певне число ходів абразивного елемента.

Результати промислових випробувань препаратів, проведених у останні роки на підприємствах гірничо-металургійного комплексу України, свідчать що найбільш ефективними для закріплення є саме полімерні реагенти. Плівка, що утворюється на поверхні хвостів має невелику товщину, але володіє наступними якостями, які сприяють довготривалому ефекту від покриття та забезпечують якісний захист від пилу:

- водопроникність матеріалу – дає можливість фільтрації води крізь утворену плівку мінімізуючи її пошкодження та зсуви субстрату від механічної дії водних потоків високої потужності (при інтенсивних опадах);
- еластичність покриття – плівка легко витримує згинання та розтягнення, що сприяє її стійкості до механічних пошкоджень, дії вітрів тощо.

Натомість при застосуванні піноутворювачів утворений просочений шар володіє більшою товщиною порівняно з полімерами. Але при механічних ушкодженнях коагульовані агрегати, утворені реагентом, легко роз'єднуються, що сприяє прискоренню подальшого руйнування при мінімальному впливі, викликаючи ланцюгову реакцію.

Випробування полімерних реагентів GRT «Enviro-Binder» та «Stabilprave» в умовах хвостосховищ Кривого Рогу показали, що матеріали забезпечують повноцінний захист поверхні відповідно до розрахункового терміну в залежності від концентрації робочого розчину.

3.2. Закріплення промислових доріг на хвостосховищах.

Основним показником результативності закріплення поверхонь автодоріг є результати лабораторних досліджень щодо інтенсивності видування пилу з поверхні обробленої ділянки дороги, що проводяться протягом дослідного періоду.

Нами проаналізовано дані щодо використання реагенту GRT: «Haul loc» (Австралія) (табл. 3.1) та «Wuvio» (Нідерланди) на ГЗК Кривого Рогу у 2021 р.

Таблиця 3.1. Результати лабораторних досліджень ефективності використання реагенту «Haul loc».

Дата/період	Показники метеоумов			Показники концентрації пилу, мг/м ³		Ефективність пилопридушення
	t ^o C	Відносна вологість, %	Швидкість вітру, м/с	Контрольна ділянка відм.+151 ПК-75+50	Дослідна ділянка відм.+136м ПК-77	
14.05.2021 (10 доба)	23	41-47	2-5	16,1	1,6	90,1%
25.05.2021 (20 доба)	26	44	1,07	5,4	0,3	94%
24.06.2021 (2 місяць)	30	46-50	0,73	3,5	0,2	94,3%
28.07.2021 (3 місяць)	28-29	43-48	0,59	7,5	0,1	98,7%
30.08.2021 (4 місяць)	26-27	55-64	1,09	7,4	0,6	91,9%
30.09.2021 (5 місяць)	13-14	40-58	1,83	16,5	0,3	98,2%
19.10.2021 (6 місяць)	12-13	41-55	1,13	6,0	0,4	93,3%

GRT: «Haul loc».

Визначення концентрації пилу проводилось через дві години після нанесення реагенту на поверхню дороги. Для порівняння та достовірності результатів було підібрано контрольну ділянку – без обробки реагентом.

Основними перевагами даного реагенту є невелика витрата концентрату на велику площу покриття – 0,5-1 л/га, а також висока ефективність на рівні не менше 90%. Недоліком засобу є частота нанесення препарату для підтримання рівня концентрації у поверхневому шарі 5-7 разів на добу.

За результатами лабораторних досліджень ефективності реагенту GRT: «Haul loc» виявлено дуже високі показники зменшення кількості виносу пилу на обробленій ділянці порівняно з необробленою – показник ефективності коливався у діапазоні 90,1-98,7%. Такі значення повністю відповідають заявленій виробником ефективності у мінімум 90%. Найменші показники у контрольних вимірюваннях спостерігались після перших десяти діб – 90,1%. Надалі, при просоченні поверхнього шару дороги препаратом та досягненні проектної концентрації GRT: «Haul loc» у субстраті, значення ефективності перевищувало 90%. Найбільші показники дії зафіксовано у липні, за низької атмосферної вологості та низькій швидкості вітру, що сприяло невеликому переносу утвореного пилу з повітряними потоками та осіданню його практично на місці утворення.

Додатково на момент початку випробувань (травень 2021) та в найбільш посушливий сезон (липень 2021) проведено визначення ефективності традиційного, найбільш вживаного способу пилоподавлення промислових доріг (полив водою) в порівнянні з дослідженою технологією GRT: «Haul loc». Встановлено ефективність застосування методу з використанням технічної води на рівні 29% в травні та 44% в липні, ефективність технології з використанням полімеру GRT: «Haul loc» в аналогічний період часу та за однакових погодних та експериментальних умов пилоподавлення (після двох годин обробки поверхні водою) зафіксовано на високому рівні – 90,1% і 98,7% відповідно. Отримані результати свідчать, що ефективність реагенту GRT: «Haul loc» в 2-3 рази вище ніж використання традиційного методу.

Показники ефективності за наявності у повітрі пилу різної розмірності наведені на графіках (рис. 3.1 та 3.2).

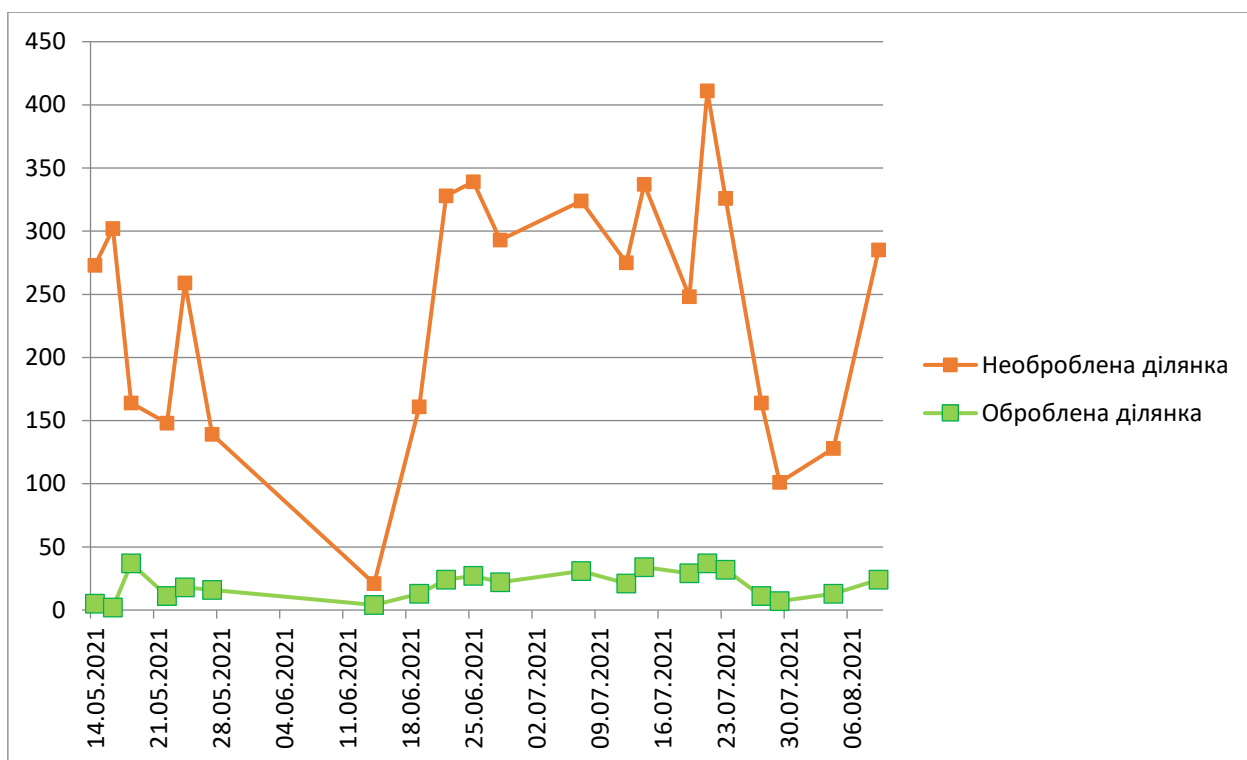


Рис. 3.1. Кількість часток PM 2.5

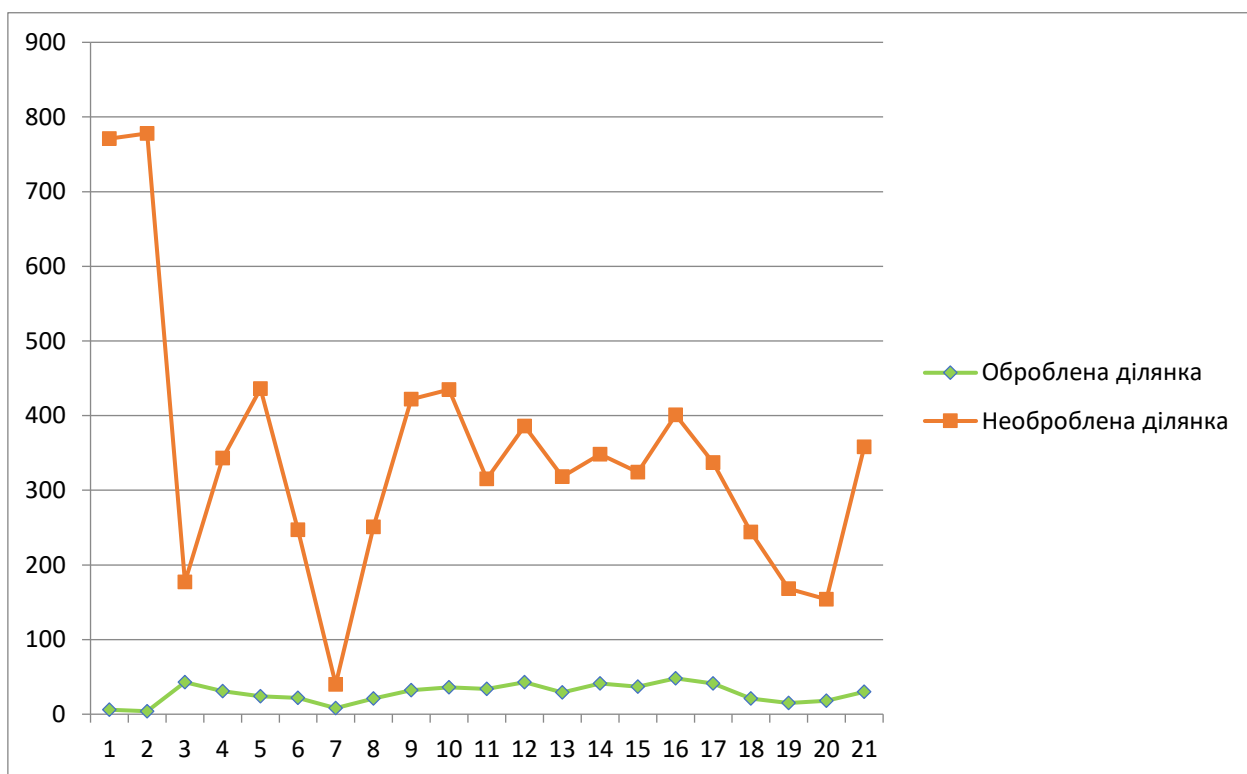


Рис. 3.2. Кількість часток PM 10

З наведених на графіках даних видно, що простежується значне зменшення виділення пилу як за фракцією PM2.5 так і за PM10.

Візуальне дослідження результатів застосування GRT: «Haul loc» також відбувалось не раніше двох годин після обробки, та за однакових погодних показників. У порівнянні з контрольною ділянкою без обробки, на дослідній ділянці не відбувалось виділення пилу при регулярному інтенсивному русі автотранспорту з вантажем. Натомість на контрольній ділянці спостережене інтенсивне пиловиділення.

Утворене реагентом покриття на поверхні доріг виявило високу стійкість до механічного пошкодження та зберігало пилозахисні якості при інтенсивному і регулярному русі автотранспорту, дії інтенсивних атмосферних опадів, а також навіть при грейдеруванні доріг.

«Wuvio».

Виміри рівня пилу проводилися одночасно на дослідній і контрольній ділянках протягом 30 хвилин (рис. 3.3, 3.4). Під час проведення вимірів здійснювався інтенсивний рух завантаженого автотранспорту – від 5 до 6 од. за 30 хвилин.

Контроль ефективності здійснювався на 3 або 4-й день після обробки поверхні дороги і проводився 12.10.2021, 19.10.2021, 29.10.2021. Контроль ефективності після 4-го нанесення не здійснювався в зв'язку погодними умовами – дощ. Таким чином за весь період випробувань було здійснено 3 виміри рівня пилу з урахуванням візуального контролю. За результатами визначення ефективності встановлено:

12.10.2021

Виміри та візуальний контроль на оброблюваній та необроблюваній (контрольній) ділянках здійснено при однакових погодних умовах:

- ясно;
- вітер західний;
- швидкість вітру 1 м/с.

На оброблюваній ділянці:

- відносна вологість 60%;
- температура 15 °С.

На необроблюваній (контрольній) ділянці:

- відносна вологість 39%;
- температура 17 °С.

Додаткове прилопридушення не передбачено порядком проведення промислових випробувань. На обробленій ділянці показник ефективності за даних умов складає 70,3%.

19.10.2021

Виміри та візуальний контроль на оброблюваній та необроблюваній (контрольній) ділянках здійснено при однакових погодних умовах:

- хмарно;
- вітер північно-західний, 6 м/с;
- температура 11-12 °С;
- відносна вологість 42-43%.

За результатами візуального контролю пиління спостерігалось на обох ділянках. Ефективність пилопридушення, згідно результатів вимірів рівня пилу в момент руху транспортних засобів склала 77,6%.

29.10.2021

Виміри та візуальний контроль на оброблюваній та необроблюваній (контрольній) ділянках здійснено при однакових погодних умовах:

- похмуро;
- вітер північний, 4 м/с;
- температура 13 °С
- туман.

Наявність туману, а також різниця у висоті розташування оброблюваної (+94,0 м) та необроблюваної (+156 м) ділянок зумовили різницю у значеннях метеорологічних факторів, а саме – відносній вологості:

- на оброблюваній ділянці – 75%;
- на необроблюваній (контрольній) ділянці – 62%.

Ефективність пилопридушення, згідно результатів вимірів рівня пилу в момент руху транспортних засобів склала 69%. Однак, зважаючи на різницю рівнів вологості, результати проведеного контролю не можна вважати показовими.



Рис. 3.3. Стан дороги одразу після обробки



Рис. 3.4. Стан дороги за 24 години після обробки.

Отже, ефективність препарату коливається в межах від 69% до 77,6%, та значно поступається у ефективності GRT: «Haul loc».

3.3. Створення суцільного покриття з бентонітових матів.

Останнім часом у якості альтернативного методу закріплення поверхонь, які є джерелами виділення пилу, та потребують постійної ізоляції, стали використовувати бентонітові мати, які зазвичай використовуються для гідроізоляції у будівництві. Особливістю такого методу є створення суцільного щільного покриття що забезпечує повне позбавлення від виділення пилу з поверхні техногенного ландшафту, а також утворює дуже довговічний, практично «вічний» захисний екран.

Найчастіше таким способом ізолюються поверхні що складені токсичними або екологічно небезпечними матеріалами. Використання бентонітових матів для суцільного перекриття поверхонь відпрацьованих техногенних ландшафтів практично неможливе через високу вартість матеріалу та нерентабельність подібних природоохоронних заходів. Але при наявності матеріалів підвищеного класу безпеки даний метод є актуальним та доцільним через стовідсотковий результат щодо ізоляції (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Процес укладання бентонітових матів

3.4. Створення суцільного рослинного покритву.

Одним із найбільш поширених та актуальних способів вирішення проблеми пиління хвостосховищ є створення на їх поверхні стійких суцільних рослинних угруповань. Зелені рослини виконують функцію скріплення поверхні корневими системами та повністю нівелюють виділення пилу з поверхні при достатній зімкненості надземних органів. При цьому флористичні угруповання є фактично самовідновними системами та не потребують постійного антропогенного управління при досягненні усталеної структури екосистеми.

Перешкодами на шляху створення стабільних угруповань рослин на хвостосховищах є структурні та мінеральні особливості субстратів. Часто субстрати хвостосховищ характеризуються надмірним вмістом токсичних

компонентів – легкорозчинних солей, карбонатів тощо. Крім того велику роль відіграє гранулометричний склад ґрунтів хвостосховищ, що являють собою піщані безструктурні субстрати, яким властива висока фільтраційна здатність, дефіцит вологи та органіки, абразивність скелетних складових.

Недоліком такого способу закріплення поверхонь від виділення пилу є вартість виконання робіт з формування первинного рослинного покриву, для чого потрібно підібрати правильний асортимент видів рослин, додаткові ґрунтопокрощуючі компоненти та добрива, здійснити обробку хвостових субстратів, виконати роботи з висадження посадкового матеріалу, виконати полив насаджень на перших етапах їх створення.

3.5. Порівняльна характеристика досліджених методів.

Кожен із досліджених нами способів ізоляції поверхонь хвостосховищ для нейтралізації процесу пиління має як позитивні так і негативні особливості та може використовуватись для різних вимог.

Переваги та недоліки способів закріплення наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Порівняння способів пилопригнічення.

Спосіб	Переваги	Недоліки	Застосування
Полімерні реагенти	<ul style="list-style-type: none"> • пластичність • водопроникність • порівняно невеликі витрати матеріалу • швидкість обробки великих площ 	<ul style="list-style-type: none"> • відносна недовговічність (3-36 місяців) • нестійкі до потужних погодних катаклізмів • необхідність періодичного оновлення 	<ul style="list-style-type: none"> • створення тимчасового покриття з фіксованим терміном служби на діючих об'єктах
Бентонітові мати	<ul style="list-style-type: none"> • суцільне покриття 	<ul style="list-style-type: none"> • дорогий матеріал 	<ul style="list-style-type: none"> • ізоляція токсичних та

	<ul style="list-style-type: none"> • надміцне покриття • одноразове нанесення • фактично постійний ефект • повна ізоляція токсичних та небезпечних речовин • стійкість до пошкоджень • порівняно нескладне нанесення 	<ul style="list-style-type: none"> • застосування техніки та трудових ресурсів для монтажу 	небезпечних матеріалів
Рослинний покрив	<ul style="list-style-type: none"> • самовідновлення • самозаростання великих площ • повна ізоляція поверхні • немає потреби у антропогенному управлінні після досягнення стабільної стадії заростання 	<ul style="list-style-type: none"> • вибагливість до умов субстрату та поверхні • вартість висадження • вибагливість до погодних і кліматичних умов • виживання рослин 	<ul style="list-style-type: none"> • консервація відпрацьованих техногенних ландшафтів після закінчення експлуатації

Отже, кожен із досліджених способів є актуальним та може бути використаний в залежності від нагальних вимог підприємств.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих способів закріплення поверхонь хвостосховищ для попередження пиління показує, що найбільш перспективними способами є покриття полімерними реагентами, ізоляція бентонітовими матами та створення стійких угруповань рослин.
2. Закріплення поверхонь за допомогою полімерів забезпечує формування на поверхні хвостів плівки з регульованим терміном дії від 3 до 36 місяців, та застосовується переважно для тимчасової ізоляції в умовах діючих об'єктів.
3. Покриття поверхонь бентонітовими матами створює довговічне суцільне покриття, але через високу вартість є доцільним для використання при наявності токсичних або біологічно небезпечних елементів у хвостах.
4. Створення рослинного покриву є досить витратним заходом на етапі створення, але забезпечує стовідсотковий результат і не потребує витрат на кінцевих етапах. Використовується переважно при консервації відпрацьованих об'єктів.
5. Для закріплення поверхонь автодоріг в межах діючих хвостосховищ окрім звичайного поливу водою доцільно використовувати полімерні реагенти. Зокрема реагент GRT: «Haul loc» забезпечує ефективність на рівні 90-98% навіть при постійному русі автотранспорту з вантажем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наливайко В.Г., Лосьєв К.В. Використання водного розчину пар «лексол» для зниження пиловиділення на прикладі кар'єра ПРАТ «ІНГЗК» // Гірничий вісник, вип. 104, 2018. – с. 121-125.
2. Barratt B, Carslaw D, Fuller G, Green D, Tremper A. Evaluation of the impact of dust suppressant application on ambient PM₁₀ concentrations along 'hot spot' highway corridors. // London: Kings College London, University of London, 2012. 56 p.
3. Böhner, R., Niemann-Delius, C., Hennig, A. The use of salt solutions to reduce PM10 on paved roads in open-pit mining [Der einsatz von salzlösungen zur PM10 - Minderung auf befestigten strafien im tagebau] // World of Mining – Surface and Underground, 63 (5), 2011. – pp. 275-279.
4. Don G. Shurig. Dust Control on Unpaved Roads // Research Associate Highway Extension and Research Project for Indiana Counties. – Purdue University, 2020. – pp. 179-191.
5. Edvardsson K. Evaluation of Dust Suppressants for Gravel Roads: Methods Development and Efficiency Studies // Doctoral Thesis. – Royal Institute of Technology. Stockholm, 2010.
6. Guo X. Assessing the Effectiveness of Eco-friendly Dust Suppressants Used to Abate Dust Emission from Mine Haul Roads // Thesis for the Degree of Master of Philosophy. Curtin University, 2018.
7. <https://ninjadeicer.com/blogs/resources/road-dust-control-techniques-and-solutions>.
8. <https://www.substrata.us/blog/solutions-for-dust-control-on-dirt-roads>.
9. <https://www.linkedin.com/pulse/how-achieve-most-effective-road-dust-control-robert-vitale>.
10. <https://www.intecoastur.com/en/catalogo/dust-free-roads-road-dust-solution-wuvio>.

11. Parvej S., Naik D.L., Sajid H. U., Kiran R. Huang Y.. Fugitive Dust Suppression in Unpaved Roads: State of the Art Research Review // Sustainability 2021, 13(4), 2399. – pp.1-30. DOI: 10.3390/su13042399.

У роботі також використані матеріали звітів гірничо-збагачувальних комбінатів м. Кривий Ріг за 2021-2023 роки.