

Домнічев М.В., Нестеренко О.В., Близнюкова О.Ю.

**«Обґрунтування використання розчину природного бішофіту
для обробки пилячих поверхонь»**

Кривий Ріг

Зміст

Вступ

1. Проблема пилового навантаження на працівників гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу та мешканців прилеглих територій.

1.1. Пиловиділення з поверхні хвостосховищ, загальні відомості про хвостосховища та технології їх експлуатації.

1.2. Пиловиділення з поверхонь автодоріг.

1.3. Огляд основних сучасних технологій та засобів що можуть використовуватися для боротьби з пилом.

2. Характеристика існуючих заходів та засобів зі зменшення пилоутворення на поверхнях хвостосховищ та автодоріг

2.1. Пошук та обґрунтування використання пилозв'язуючих розчинів.

2.2. Огляд основних способів і засобів знепилення автомобільних доріг

3. Вибір засобу та способу боротьби з пилом в умовах хвостосховищ, відвалів та автодоріг

3.1. Пошук та обґрунтування використання пилозв'язуючих розчинів.

4. Технологія використання розчину природного бішофіту

Висновки.

Список використаної літератури.

Вступ

Значною проблемою, на сьогодні є винесення пилу в повітря з різних технологічних об'єктів, що зумовлює не лише розвиток у працівників промислових підприємств розвиток професійних легеневих захворювань а також погіршення загальної екологічної ситуації в районі розміщення промислового об'єкту.

В першу чергу це – діючі хвостосховища, кар'єрні та інші тимчасові автодороги, склади сипучих матеріалів та відвали.

Тому необхідно визначити оптимальну технологію вирішення даної проблеми та обрати засіб, який ефективно вирішить дану проблему.

Технологія видобутку корисних копалин з подальшим збагаченням бідних руд, що існує на сьогодні, потребує порівняно великих територій під облаштування спеціальних місць для розміщення відходів збагачення (хвостів), пустих і бідних порід.

На сьогодні, в нашому регіоні найбільшого поширення в промислових умовах набув мокрий спосіб складування хвостів, тобто гідровідвалоутворення. В основному, це намив гідросуміші хвостової пульпи у спеціальні гідротехнічні споруди – хвостосховища, що являють собою місткості природного чи штучного походження, обгороджені греблею чи дамбою, які споруджуються зі скельних і глинистих порід та хвостів.

Понад 70 % видобутої залізорудної сировини у Кривбасі переробляється на п'яти гірничо-збагачувальних комбінатах (далі ГЗК). Відходи збагачення (хвости) складуються до хвостосховищ, які займають значну площу (більше 4700 га). Більшість хвостосховищ регіону на сьогодні є діючими.

Після намиву карти у зонах випуску хвостової пульпи на хвостосховищах утворюються сухі ділянки, котрі виступають над водною поверхнею. Хвости на ділянках укосів швидко віддають вологу, висихають і при швидкостях вітру понад 3 м/с, піддаючись вітровій ерозії, стають джерелами винесення пилу в атмосферне повітря. Намив деяких діючих хвостосховищ Кривбасу вже досягає висоти понад 100 м. Це сприяє вітровій ерозії на їхній поверхні, а відповідно і поширенню

негативного впливу хвостосховищ як на екологічну ситуацію в районі так і на стан здоров'я працівників підприємств та прилеглих житлових масивів. Переважна більшість хвостів за своїм фракційним складом належить до ерозійно-небезпечного пилю, до 90 % якого становлять частинки діаметром менше 50 мкм. При тривалому впливі пил сприяє розвитку таких професійних захворювань як пиловий бронхіт, силікоз тощо. Лише на обслуговуванні хвостосховищ ГЗК Кривбасу щоденно задіяно понад 300 осіб персоналу. За період 2003–2006 рр. у постійного персоналу ГЗК Кривбасу було зареєстровано 72 випадки різних професійних захворювань дихальних шляхів.

Для запобігання негативному впливу діючих хвостосховищ на стан здоров'я працівників і з метою поліпшення санітарно-гігієнічних умов на прилеглих територіях раніше пропонувалося закріплювати сухі ділянки хвостосховищ відходами нафтопереробки, виробництва целюлози, латексами, полімерами тощо, які утворюють на поверхні хвостів тонку плівку. Але всі ці засоби мають не лише переваги а і суттєві недоліки

Тому розробка і дослідження нових технологій закріплення поверхонь діючих хвостосховищ, кар'єрних автодоріг та відвалів пустих порід з яких відбувається винесення пилю, є актуальною науковою і практичною задачею, що має важливе значення для захисту виробничого персоналу та навколишнього середовища від шкідливої дії пилю.

1. Проблема пилового навантаження на працівників гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу та мешканців прилеглих територій

У нашому регіоні, внаслідок постійного впливу пилу на працівників відкритих цехів ГЗК, щорічно фіксуються професійні легеневі захворювання, такі як пиловий бронхіт та сидеросилікоз (професійне захворювання, спричинене тривалим впливом підвищених концентрацій промислового пилу чи аерозолів, яке характеризується дифузними запальними та дегенеративно-дистрофічними змінами слизової оболонки трахеї та бронхів).

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 95дБ, але перевищення становить на 95% робочих місць [1].

Таблиця 1.1

Результати оцінювання умов праці робітників шламового господарства та оцінка групового підозрюваного професійного ризику

Професія	Клас та ступінь шкідливості факторів виробничого середовища та трудового процесу							Загальна оцінка умов праці	Професійний ризик
	Хім. речовини	Пил	Шум	Мікроклімат	Вібрація	Важкість праці	Напруженість праці		
Майстер зміни	2	3.2	2	2	2	2	2	3.2	Сер.
Майстер з ремонту пульпопроводів	2	3.1	3.2	3.1	2	2	2	3.2	Сер.
Електрик дільниці	2	3.2	3.1	2	2	2	2	3.2	Сер.
Механік дільниці	3.1	3.2	3.2	3.2	2	2	2	3.3	Вис.
Механік малої механізації	2	3.1	3.1	3.1	3.3	2	2	3.3	Вис.
Слюсар черговий і з ремонту обладнання	2	3.1	3.2	3.1	2	3.1	3.1	3.2	Сер.
Машиніст бульдозера	2	3.1	3.1	3.1	3.3	3.1	3.1	3.3	Вис.
Газорізальник	3.1	3.2	3.2	3.2	2	3.1	3.1	3.3	Вис.

Електрослюсар черговий і з ремонту обладнання	2	3.2	3.2	3.1	2	3.1	3.1	3.3	Вис.
Машиніст екскаватора	2	3.1	3.2	3.1	2	3.1	3.1	3.2	Сер.
Електрозварник ручного зварювання	3.1	3.2	3.1	3.2	2	3.1	3.1	3.3	Вис.
Тракторист	2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	Сер.
Машиніст крана	2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	Сер.
Машиніст скрепера	2	3.1	3.1	3.1	2	3.1	3.1	3.2	Сер.
Машиніст трубоукладальника	2	3.1	3.1	3.1	2	3.1	3.1	3.2	Сер.
Машиніст насосної станції	2	3.1	3.2	3.1	2	3.1	3.1	3.2	Сер.
Шламівник-басейник	2	3.2	2	2	2	3.1	3.1	3.2	Сер.

Як видно з даних, наведених у табл. 1.1, для більшості основних професій, перше за рангом місце посідає наявність пилу. Це пов'язано, в першу чергу, з загальною запиленістю на території шламового господарства.

Враховуючи усе це, завдання захистити здоров'я працівників вимагає від нас вибору засобу, який би зменшив інтенсивність виділення пилу з поверхонь хвостосховищ, відвалів та доріг.

Захворювання, які фіксуються у працівників ГЗК, виникають і розвиваються впродовж тривалого часу, що ускладнює визначення причин розвитку захворювання (стаж роботи хворих від 10). Але, зважаючи на штатну структуру хвостового господарства ГЗК та кількість працівників, які постійно перебувають під впливом пилу, ми можемо цілком обґрунтовано стверджувати, що пил хвостосховищ має негативний вплив на стан їхнього здоров'я.

Найбільш перспективним і актуальним вирішенням проблеми зниження пилового навантаження на оточуюче середовище та персонал, є визначення переліку засобів і заходів направлених на зменшення виділення пилу до атмосферного повітря та вибір на основі цього спеціальних засобів для зменшення кількості пилу, що виноситься з сухих поверхонь промислових об'єктів ГЗК.

Цей засіб або засоби має бути універсальним, тобто придатним для ефективного зниження пилового навантаження не лише на хвостосховищах (в т.ч. діючих) а і на автодорогах і відвалах протягом всього року. Як при високих так і низьких температурах повітря і різній його вологості.

Бажано, аби запропонований засіб не потребував спеціального вузла з приготування та використання спеціальної техніки.

В іншому випадку, така техніка не має бути дефіцитною, складною у використанні та дорогою.

1.1 Пиловиділення з поверхні хвостосховищ, загальні відомості про хвостосховища та технології їх експлуатації

На більшості гірничих підприємств видобування бідних руд проводиться з їх подальшим збагаченням. У процесі цього, частина матеріалу, що піддається переробці, у вигляді відходів збагачення (хвостів) йде до гідровідвалів – хвостосховищ.

Так, на прикладі гірничовидобувних комбінатів Кривбасу, > 70% видобутого матеріалу у вигляді хвостів йде у хвостосховища, які займають значну площу (сотні га). Хвостосховища розташовані на промислових майданчиках підприємств на відстані 1-5 км від збагачувальних фабрик та житлових масивів.

У зв'язку з тим, що хвости разом з «пустими» породами містять ряд цінних компонентів (залізо, алюміній, марганець, дорогоцінні та рідкісні елементи і т.п.), вони можуть бути повторно перероблені і є техногенними джерелами корисних копалин. Все це вимагає їх організованого складування та зберігання.

На сьогодні методи складування хвостів можуть бути «сухими» або «мокрими». Однак найбільш широко на сьогодні у нас знайшов використання «мокрый» спосіб їх складування, тобто гідровідвалоутворення. В основному, це налив гідросуміші хвостової пульпи у спеціальні гідротехнічні споруди – хвостосховища.

Як інженерна споруда хвостосховище являє собою місткість, природного чи штучного походження, обгороджену греблею чи дамбою, що будується зі скельних і глинистих порід та хвостів. Воно призначене для організованого складування та зберігання хвостів, освітлення і відведення води. Розміри сучасних хвостосховищ залежать від виробничих потужностей фабрик ГЗКів.

Спосіб облаштування хвостосховищ багато в чому пов'язаний з рельєфом місцевості, де вони розташовані, і класифікується за п'ятьма типами: яружне, рівнинне, яружно-рівнинне, заплавне, косогірне (рис. 1.1).

Спосіб намиву пульпи (вода + хвости) може бути надводним чи підводним. В основному, в практиці використовується надводний намив. Однак в холодну пору року може використовуватися підводний (підльодний) намив.

Транспортування і випуск пульпи здійснюється за допомогою розподільного пульповоду у вигляді труб значного діаметра. Випуск пульпи може бути зосередженим (один) чи розосередженим (використовується декілька випусків через певну відстань).

В основному здійснюється однобічний намив у карти, утворені первинними (основними) дамбами обвалування, а також вторинними (допоміжними) дамбами обвалування. (рис. 1.2).

Процес заповнення хвостосховищ хвостами відбувається за 3-ма основними схемами:

- від дамби (греблі) до берегів карт (рис. 1.3);
- від берегів до греблі (рис. 1.4);
- комбінований - як від дамби, так і від берега.

Розподільний пульпопровід укладається по гребню дамби чи греблі. По довжині розподільного пульповоду через кожні 50-200 м облаштовуються короткі випуски діаметром. Намивання відбувається шарами потужністю 0,5 м через один – три одночасно працюючих випуски.

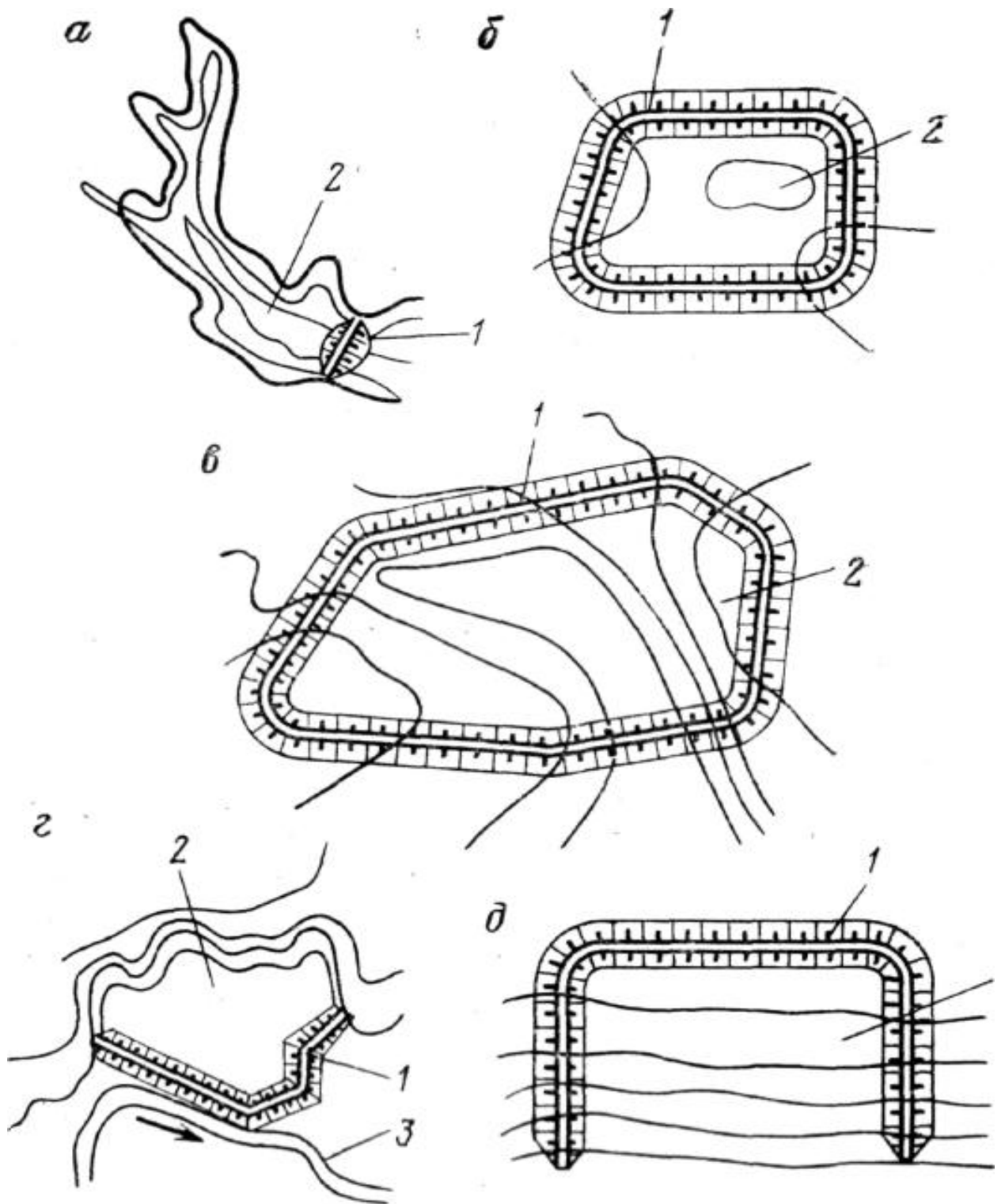


Рисунок 1.1 Типи хвостосховищ:

а – яружне; б – рівнинне; в – яружно-рівнинне; г – заплавне; д – косогірне; –
 1 – дамба, 2 – ложе хвостосховища; 3 – річка

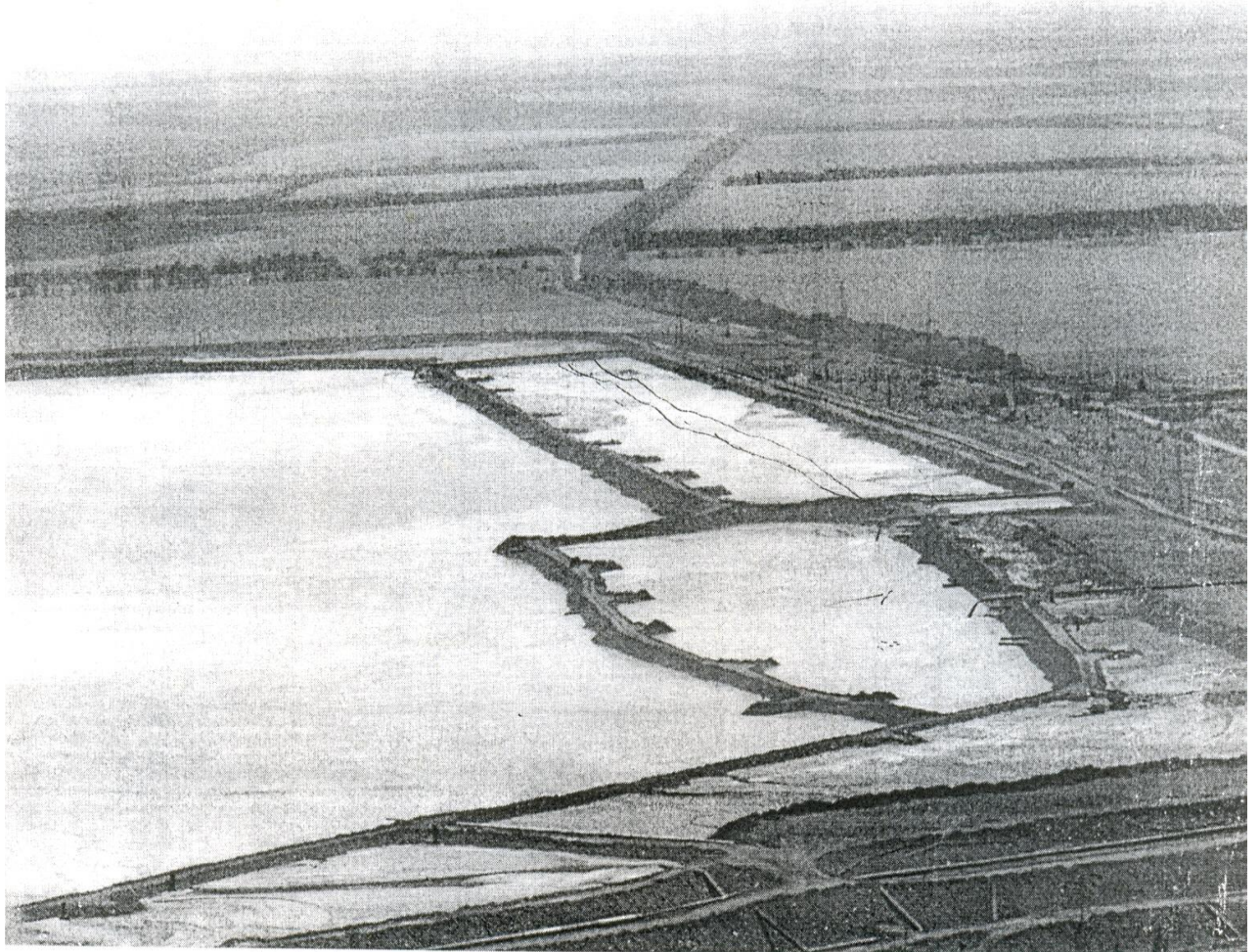


Рисунок 1.2 Загальний вигляд хвостосховища з картовим намивом



Рисунок 1.3 Намив карти від греблі до берегу



Рисунок 1.4 Намив карти від берегу до греблі

Усі ГЗК Кривбасу на хвостосховищах використовують оборотну воду. При цьому осідання частинок з пульпи відбувається в 3-х основних зонах:

- надводній ділянці пляжу;
- підводному укосі пляжу;
- ставку – відстійнику.

На надводному пляжі відкладаються хвости від крупнопіщаних до пилюватих, на підводному укосі – пилюватих і супіщаних, а в ставку–відстійнику – суглинистих та глинистих. У випадку великої довжини технологічної карти при зведенні вторинних дамб площа сухих пляжів коливатиметься від 4,5–5 до 80 га.

Повторний намив хвостів на карти відбувається через 3-8 місяців і більше. У період намиву хвостової пульпи в хвостосховищі відбувається фракціонування хвостів. Так, у місці випуску пульпи (де швидкість потоку максимальна) відкладаються найбільш важкі частинки, а більш легкі захоплюються потоком. По ходу руху потоку пульпи і зменшення його швидкості відкладаються все більш

легкі частинки до урізу води ставка освітлення включно, куди стікають в основному мулові та колоїдні частинки хвостів збагачення.

У зв'язку з цими процесами в зонах випуску хвостової пульпи на хвостосховищах утворюються відкоси намиву, котрі виступають над водною поверхнею (більше при підводному намиві). Після зміщення зони намиву відклади хвостів на ділянках укосів швидко віддають вологу, висихають і при відповідних швидкостях вітру (понад 3 м/с), піддаючись вітровій ерозії, стають джерелами пилоутворення.

Намив деяких діючих хвостосховищ Кривбасу вже наблизився до проектних відміток і досягає висоти понад 100 м. Це сприяє збільшенню вітрової ерозії їх поверхні, а відповідно і негативному впливу хвостосховищ на оточуюче середовище.

Поверхні хвостосховищ, що пилять, можна розділити на три джерела. До них належать хвостосховища, намиті до проектних відміток, тимчасово сухі пляжі в період експлуатації та дамби і греблі, намиті з хвостів.

Перше джерело характеризується тим, що процес складування хвостів вже завершено, ставки-відстійники відсутні, а верхній шар хвостосховища зневоднено. Площі таких джерел пилоутворення знаходяться на висоті десятків метрів над рівнем землі, що сприяє оптимальним умовам для здійснення великої кількості пилу. У даному випадку питання боротьби з пилом вирішується достатньо просто. Проектами передбачено покриття поверхонь пляжів шаром потенційно родючого ґрунту та висаджування трав і кущів. Існують також інші рішення рекультивації хвостосховищ, намитих до проектних відміток.

Боротьба з пилінням на діючих хвостосховищах шляхом проведення рекультивації недоцільна. Найбільші джерела пилоутворення - тимчасові пляжі дамб і гребель, що намиваються з хвостів. Вони мають значну небезпеку для здоров'я людей та стану прилеглих територій через те, що містять велику кількість незв'язаної (сипкої) пилюватої фракції.

Перші згадки про пилоутворення хвостосховищ знаходимо в роботах Даулбаєва Ф.А., Корякіна Н.С., Мороза М.В., Смокоткіної Г.Н. та інші. Вони

доводять, що в Казахстані хвостосховища збагачувальних фабрик при пилоутворенні негативно впливали на умови життя та здоров'я населення прилеглих до фабрик районів.

Так, Смокоткіна Г.Н. [2] відзначає, що мешканці м. Джеккагану скаржаться на те, що при пилоутворенні на хвостосховищах ними фіксується запиленість хатніх речей, неможливість провітрювання приміщень, забруднення очей пилом, нудота, головний біль, запаморочення, кашель тощо.

У роботах Даулбаєва Ф.А. та інших [3] вказано причини, що впливають на винесення пилу з поверхонь хвостосховищ, однією з яких є вітер. Так, при його швидкості понад 11 м/с пил, віднесений з поверхні хвостосховища, розташованого за 750 м від м. Кентау, досягає дуже високої концентрації, при якій видимість скорочується до 2 м, а населення скаржиться на погані умови.

Забруднення атмосфери пилом хвостосховищ у Кривбасі стало фіксуватися в 60-х роках ХХ сторіччя. Окремі вимірювання тих років, як відзначає Борисов В.Г. [4], було проведено санітарно-гігієнічними організаціями. Вони показали, що при швидкості вітру 7,0-8,0 м/с на відстані 100 м від хвостосховищ ступінь забруднення повітря пилом досягає 30-137 мг/м³.

Кількість пилу, що відноситься вітром з поверхні хвостосховища, в основному, залежить від таких основних факторів: швидкості вітру, вологості поверхневого шару та його фракційного складу. Найбільш несприятливі кліматичні фактори виникають у теплий літній період, коли фіксується суха та спекотна погода, сильні вітри та великий дефіцит вологості повітря та ґрунту.

Експериментальні заміри концентрації пилу як на поверхні, так і на відстані від хвостосховищ на різноманітних рівнях були проведені Державним підприємством «Науково-дослідний інститут безпеки праці в гірництві» (ДП НДІБПГ) [5]. Вони показали (табл. 1.2) також виражену залежність ступеня запилення від сезону. Так, при зустрічі з дамбою хвостосховища пиловий потік, змінюючи напрямок, стискається і швидкість його руху над внутрішнім укосом дамби та її гребенем стає вищою, ніж над поверхнею хвостосховища. При цьому концентрація пилу по висоті у потоці, що огинає дамбу, стрімко падає, а основна маса пилу (понад 90%)

фіксується на висоті ~ 8,0 м. Решта маси пилу, що огинає дамбу обвалування, піднімається на висоту, що не перевищує 20 м.

Значний вплив можуть мати такі фактори, як хімічний, фракційний та мінеральний склад хвостів. Такі дані наведено в табл. 1.3-1.7 [6].

Таблиця 1.3

Гранулометричний склад хвостів ГЗК Кривбасу, %

Підприємство	Розмір частинок, мкм						
	100-500	500-250	250-50	50-10	10-5	5-1	<1
ГЗК ПАТ «АМКР»	Сліди	0,4	2,2	56,1	12,7	22	6,6
ПАТ «Південний ГЗК»	-	Сліди	10,6	77,8	3,3	5,9	2,4
ПАТ «ЦГЗК»	-	-	8,4	71,8	5,1	9,9	4,8
ПАТ «Північний ГЗК»	-	0,7	4,7	66,8	10	14	3,8
ПАТ» ІнгулецькийГЗК»	-	0,5	5,2	78,4	4,1	6,1	4,8

Таблиця 1.2

Забрудненість повітря пилом у зоні об'єднаного хвостосховища ПАТ «ПівдГЗК» та ПАТ «АМКР», мг/м³

Метеорологічні параметри				Місця відбору проб повітря				
Швидкість вітру, м/с	Температура повітря, °С	Вологість повітря, %	Напрямок вітру	Навітряна сторона (фон)	Завітрена сторона			
					Хвостосховище за 25 м від дамби обваловування	Верхня кромка дамби, м	На відстані 100 м від хвостосховища	На відстані 500 м від хвостосховища
0,93	-0,4	77	Північ.-захід.	0,1	2	2,3	1,5	0,9
2,71	-0,6	78	Північний	0,4	7	11	8	2
4,33	-8	89	Північний	0,2	20	41	32	0,4-4,1
7,2	-3	82	Північно- східний	1,4	101-250	130-180	85	1,5-3,3
9,4	-5	83	Північний	1,6	270-760	600	411	10,8-22,9
3,6	+24	35-40	Півд.-схід.	2,3-3,1	-	1,3-1,7	-	-
5,4	+23	55-60	Півд.-схід	59,6-180,4	-	31,4-104,3	-	2,8-7,4
9,1	+22	60-70	Південний	520-1010	-	243-630	-	68-192

Таблиця 1.4

Седиментаційний аналіз фракцій хвостів сухих пляжів, мм, %

Підприємство	Розмір частинок, мкм								
	50-40	40-25	25-16	16-10	10-6,3	6,3-4	4-2,5	2,5-1,6	-1,6
ПАТ «Ін.ГЗК»	26,48	40-25	25-16	16-10	10-6,3	6,3-4	4-2,5	2,5-1,6	0,53
ГЗК ПАТ «АМКР»	26,25	33,67	17,81	12,60	2,80	3,87	0,25	1,65	1,1
ПАТ «Півн.ГЗК»	39,95	24,75	17,97	12,36	0,84	1,93	1,10	0,27	0,83
ПАТ «Під.ГЗК»	40,83	26,38	13,18	14,40	1,65	2,47	0,55	0,27	0,27
ПАТ «ЦГЗК»	23,07	29,13	23,90	15,93	4,95	1,09	0,55	0,55	0,82

Потім, після подолання дамби хвостосховища, пиловий потік розкривається, а його швидкість падає до зафіксованої над поверхнею і стає нижчою. При цьому значна частина хвостів більш великої фракції випадає за дамбою, а тонка фракція відноситься на порівняно великі відстані, не лише забруднюючи оточуюче середовище а і погіршує умови праці працівників хвостового господарства ГЗК та інших промислових ділянок так і якість життя мешканців прилеглих до хвостосховища територій.

Мінеральний пил, що розноситься на значні відстані, не лише негативно впливає на живі організми, а і погіршує стан ґрунтів і водних об'єктів, знижує їх продуктивність і якість.

Таблиця 1.5

Хімічний склад хвостів Криворізьких ГЗКів, %

Підприємство	Хімічні сполуки										
	ΣFe	Fe_2O_3	FeO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	MnO	CO_2	П.і.
ГЗК ПАТ «АМКР»	14,5	3,71	13,8	60,85	1,46	1,34	4,16	0,02	0,17	-	13,07
ПАТ «ПівдГЗК»	14,5	1,07	4,6	61,64	0,66	2,79	4,72	-	-	-	10,54

ПАТ «ЦГЗК»	16,9	-	9,9	63,02	2,1	1,24	2,78	-	0,16	4,5	4,8 6
ПАТ «Півн.ГЗК»	12,6	3,76	5,09	65,79	1,1	3,17	5	0,14	0,12	3,2 4	4,3 4
ПАТ «Ін.ГЗК»	12,9	4,05	6,8	64,04	2,57	1,83	2,84	0,19	0,16	3,6 4	5,5 57

Таблиця 1.6

Об'ємний вміст мінералів у хвостах Криворізьких ГЗК, %

Підприємство	Мінерал			
	Кварц	Карбонат	Магнетит	Амфіболіт
ГЗК ПАТ «АМКР»	61,4	25,1	13,5	Окремі зерна
ПАТ «Південний ГЗК»	65,3	25,5	9,2	- -
ПАТ «Центральний ГЗК»	78,3	14	7,7	-
ПАТ «Інгулецький ГЗК»	70	20	8	2

Рух пилоповітряного потоку на хвостосховищах це активний процес, аналогічний вітровій ерозії пісків в пустелях або ґрунтів за відсутності рослинності (рис 1.5.) [7].



Рисунок 1.5 Винос пилу з поверхні хвостів

Процес вітрової ерозії поверхні хвостосховищ - це фізичний процес, залежний як від внутрішніх чинників (властивостей хвостів, рельєфу

поверхні хвостосховища тощо) так і зовнішніх чинників (швидкості і напрямку вітру і вологості повітря тощо).

Чинником, що впливає на процес підняття пилу хвостів, є вологість повітря і матеріалу. Так, влітку при високих температурах повітря і низькій вологості повітря і матеріалу зневоднена поверхня хвостосховища стає потенційним джерелом пиловиділення. У зимовий період майже вся поверхня хвостосховища замерзає, надаючи протидію вітровій ерозії.

В результаті досліджень здуваєності пилу з поверхні, складеної з хвостів, встановлена також її залежність від вологості хвостів. При швидкості потоку до 5 м/с і вологості хвостів більше 6% здування пилу з поверхні незначне, запропоновані емпіричні залежності для визначення питомої здуваєності пилу при швидкості вітру від 2 до 13,5 м/с і різної вологості хвостів.

Як показують дослідження [17], коливання кількості пилу, що відноситься вітром з поверхні хвостосховища, для умов Кривбасу залежить від кліматичних факторів, які виникають у теплий літній період, коли фіксується суха та спекотна погода, сильні вітри та наявний великий дефіцит вологості повітря та ґрунту.

У роботах, присвячених дослідженню процесу забруднення навколишнього середовища пилом з хвостосховищ, встановлено основні фактори, що впливають на процес пиловиділення, та проведено оцінку хвостосховища, як джерела викиду пилу. Так, основними факторами названо швидкість повітряного потоку, вологість верхнього шару хвостів та гранулометричний склад хвостів [8, 17].

Гранулометричний склад хвостів, що характеризує поверхню хвостосховища, може визначати її стійкість до вітрової ерозії.

Фактором, що впливає на процес здимання пилу хвостів, є вологість повітря та матеріалу. Адгезія малих частинок, що впливає на ерозію, при вологості повітря понад 70% збільшується. Отже, при низькій вологості повітря вона зменшується. Так, влітку при високих температурах повітря та

низькій вологості повітря і матеріалу зневоднена поверхня хвосховищ стає потенційним джерелом пиловиділення. У зимовий період майже вся поверхня хвосховища замерзає – і пиловиділення значно зменшується.

Одним з важливих метеорологічних факторів, що впливають на процес руху пилових фракцій хвостів є вітер. Швидкість вітру визначає інтенсивність пиловиділення, характер переміщення пилового потоку та дальність цього перенесення [6].

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. Важливими для вибору засобів пилопридушення ефективних в конкретних кліматичних умовах є знання цих параметрів.

Дані за метеорологічними параметрами подано в табл. 1.7-1.9.

Таблиця 1.7

**Характеристика середніх значень метеорологічних параметрів
регіону Кривбас**

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

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 пилових частинок в атмосферному повітрі, для Кривого Рогу наведено в табл. 1.8.

Таблиця 1.8

**Метеорологічні коефіцієнти, що впливають на
розсіювання забруднюючих речовин**

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

У середньому за рік реєструється 29 днів із сильним вітром (швидкість – понад 15 м/с). Сніжний шар нестійкий. Середня декадна висота снігового шару коливається в межах 2-7 см. Середньорічна глибина промерзання поверхні – 0,9 м. Найбільша глибина промерзання становить 1,15 м.

Випаровування є однією з основних складових теплового та вітрового балансу поверхні. Річний хід середніх величин випаровування з суші наведено за даними метеорологічної станції Кривого Рогу, випаровування з водної поверхні – за даними, одержаними за допомогою наземних випарювачах типу ГГІ-3000 на Карачунах (район Кривого Рога). Середньомісячні та річні величини випаровування наведено в табл. 1.9.

Таблиця 1.9

Інтенсивність випаровування вологи, мм

Випаровування	Місяці												За рік
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
З поверхні суші	4	13	36	66	76	82	74	61	47	31	9	2	491
З поверхні води	-	-	-	-	140	167	189	173	124	58	-	-	851

За сумою опадів та випаровування район Кривбасу характеризується недостатнім зволоженням, що негативно впливає на інтенсивність здимання пилу з поверхонь хвостосховищ.

Враховуючи викладене, необхідно зазначити: швидкість вітру по мірі наближення до земної поверхні через тертя повітряних мас об неї зменшується і навіть доходить у нерівностях рельєфу до нуля. При цьому в безпосередній близькості біля поверхні утворюється вітровий шар значної інтенсивності, товщина якого приблизно дорівнює розміру зерен хвостів. У цьому шарі відбувається перепад тиску, який і є причиною здіймання частинок у повітря. Зі збільшенням турбулентності потоку повітря біля поверхні ґрунту інтенсивність вітрової ерозії також збільшується [17].

Розвиток ерозії починається при цілком визначених критичних швидкостях, що залежать від розміру частинок. Наприклад, для піщаних та ґрунтових частинок розміром 0,05-0,25 мм критична швидкість дорівнює 3,0-5,0 м/с, а при менших та більших розмірах зерен вона збільшується.

Частинки розміром менш ніж 0,1 мм пересуваються у завислому стані, при цьому вони не піднімаються вище 1,0 м, а 90 % їх взагалі зосереджено в 10-сантиметровому шарі біля поверхні землі. Основна маса частинок (75 %) розміром 0,5-0,1 мм рухається ніби стрибками (сальтація) [4]. Траєкторія руху при цьому визначається їх розміром, вагою та турбулентністю потоків. Частинки крупністю 0,5 мм перекочуються по поверхні ґрунту або ніби повзуть по ньому. Виникнення такого руху обумовлюється впливом вітру на частинки та ударом частинок, що пересуваються сальтацією. Основна маса частинок хвостів має розмір 50 мкм, тому вони мають високу початкову швидкість руху.

Таким чином, для пилеподавлення на території Кривбасу необхідно застосовувати ефективний засіб з тривалим часом дії здатний ефективно закріплювати поверхні пилоутворення в усіх діапазонах температур та в умовах порівняно низької відносної вологості повітря і поверхневого шару ерозійно-небезпечного матеріалу.

Отже, виходячи з вищесказаного, можна відзначити, що хвостосховища є одним з надзвичайно інтенсивних джерел забруднення атмосферного повітря та прилеглих територій пилом (рис. 1.6-1.9). Завдяки роботі шановного пана Василенка, ми можемо наочно бачити як пилові потоки поширюються на сільськогосподарські і житлові райони нашого регіону.

Тому існує необхідність пошуку ефективного засобу зменшення винесення пилу з їх поверхонь.

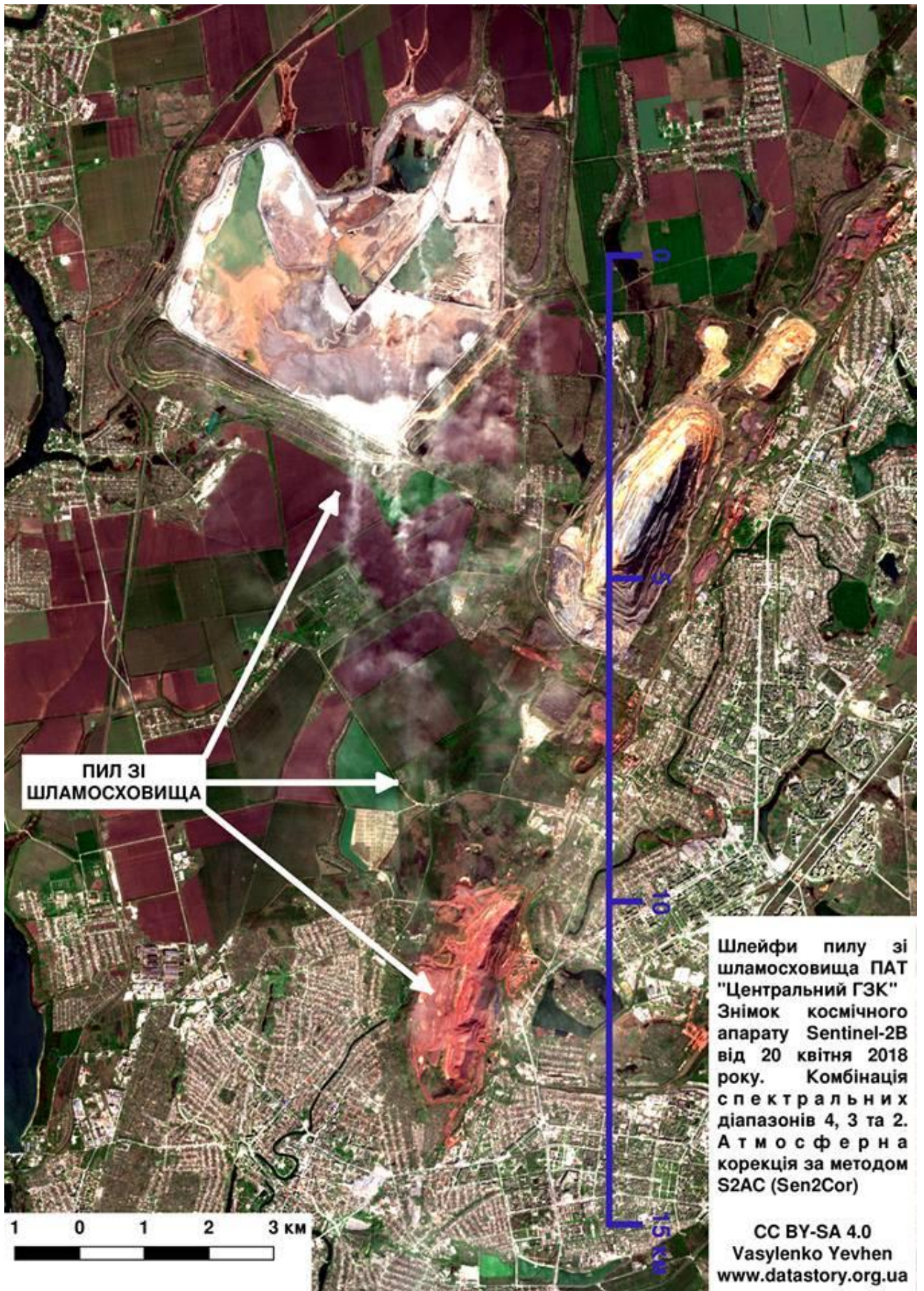


Рисунок 1.6 Супутникова зйомка поширення пилової хмири з хвостосховища ЦГЗК

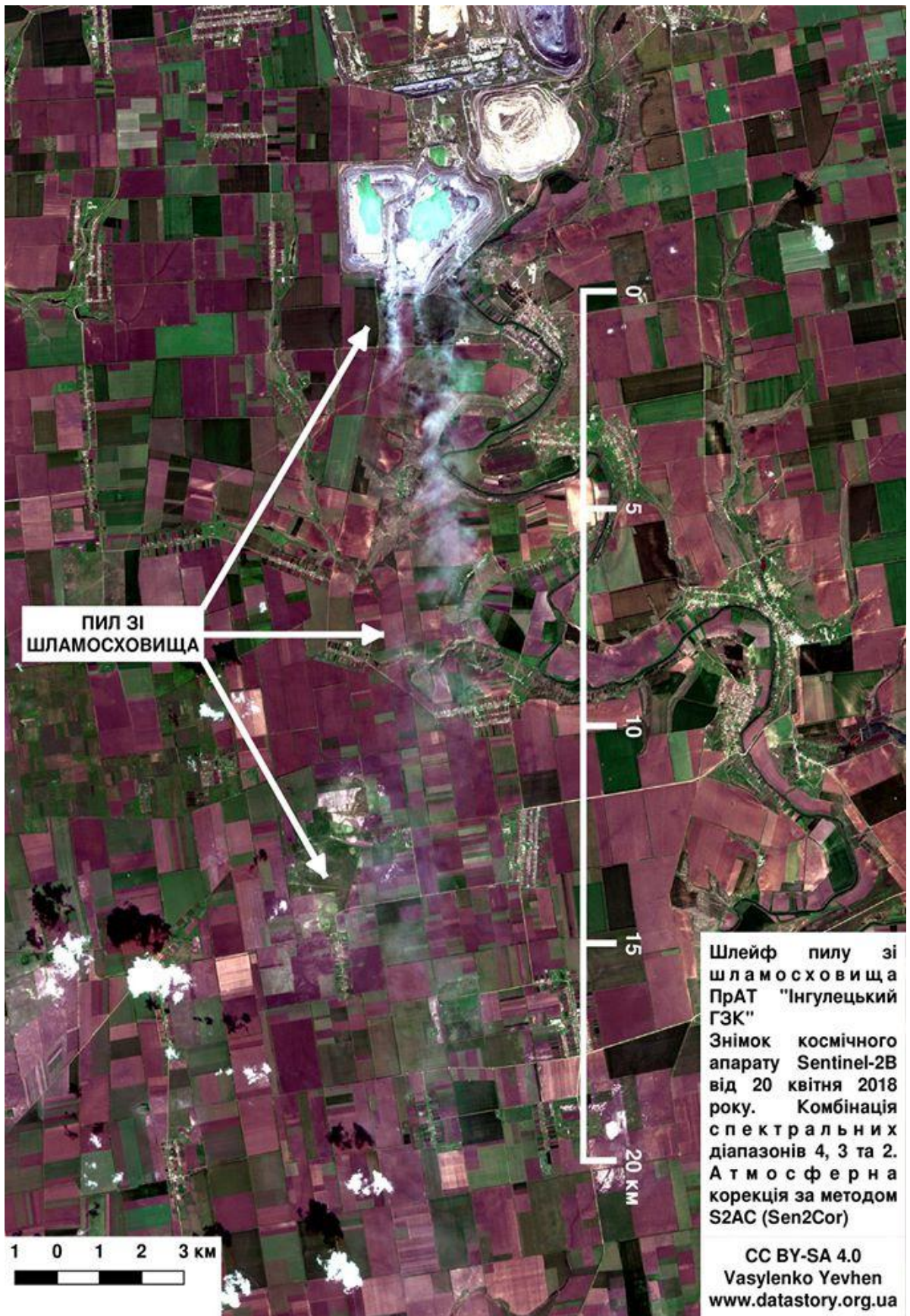


Рисунок 1.7 Супутникова зйомка поширення пилової хмари з хвостосховища ІнГЗК

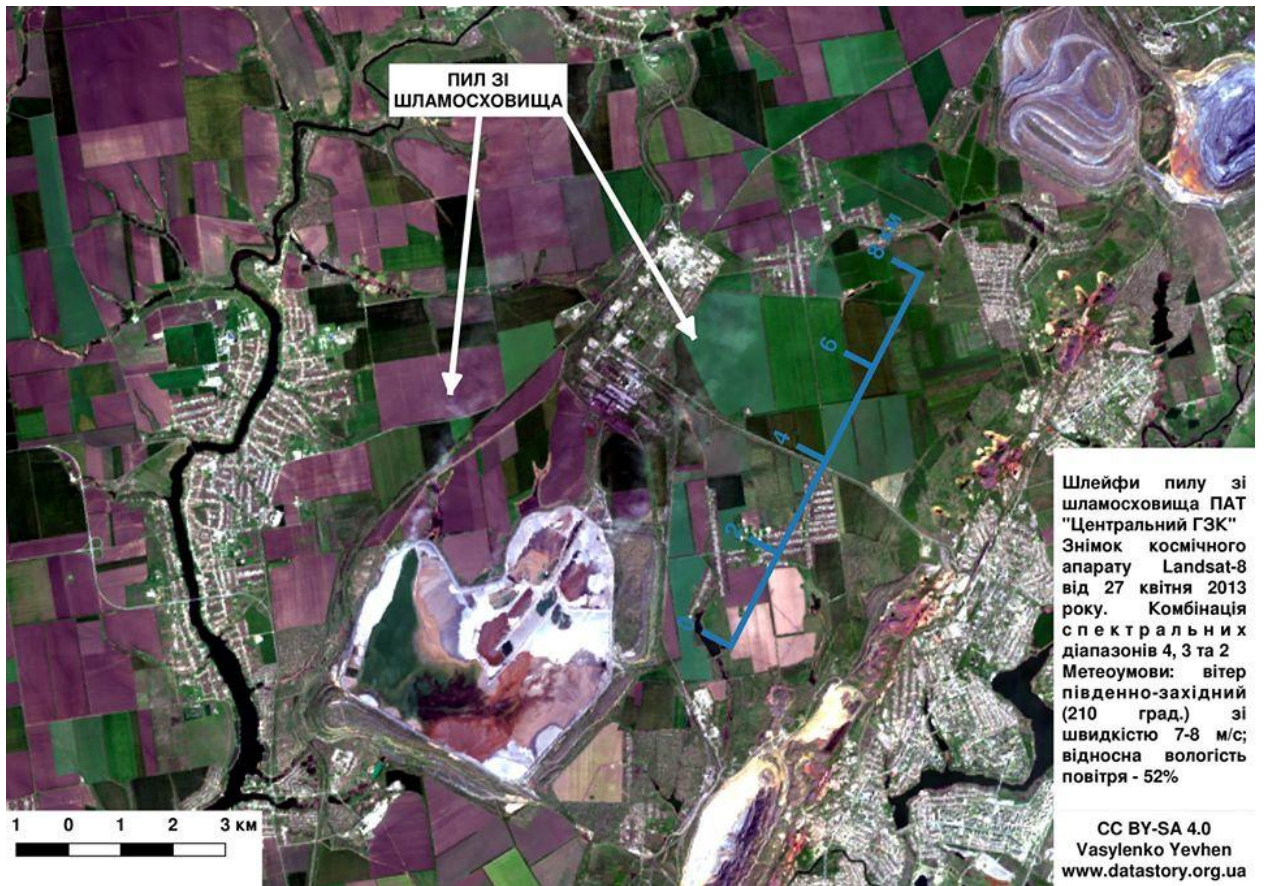


Рисунок 1.8 Супутникова зйомка поширення пилової хмари з хвостосховища ЦГЗК

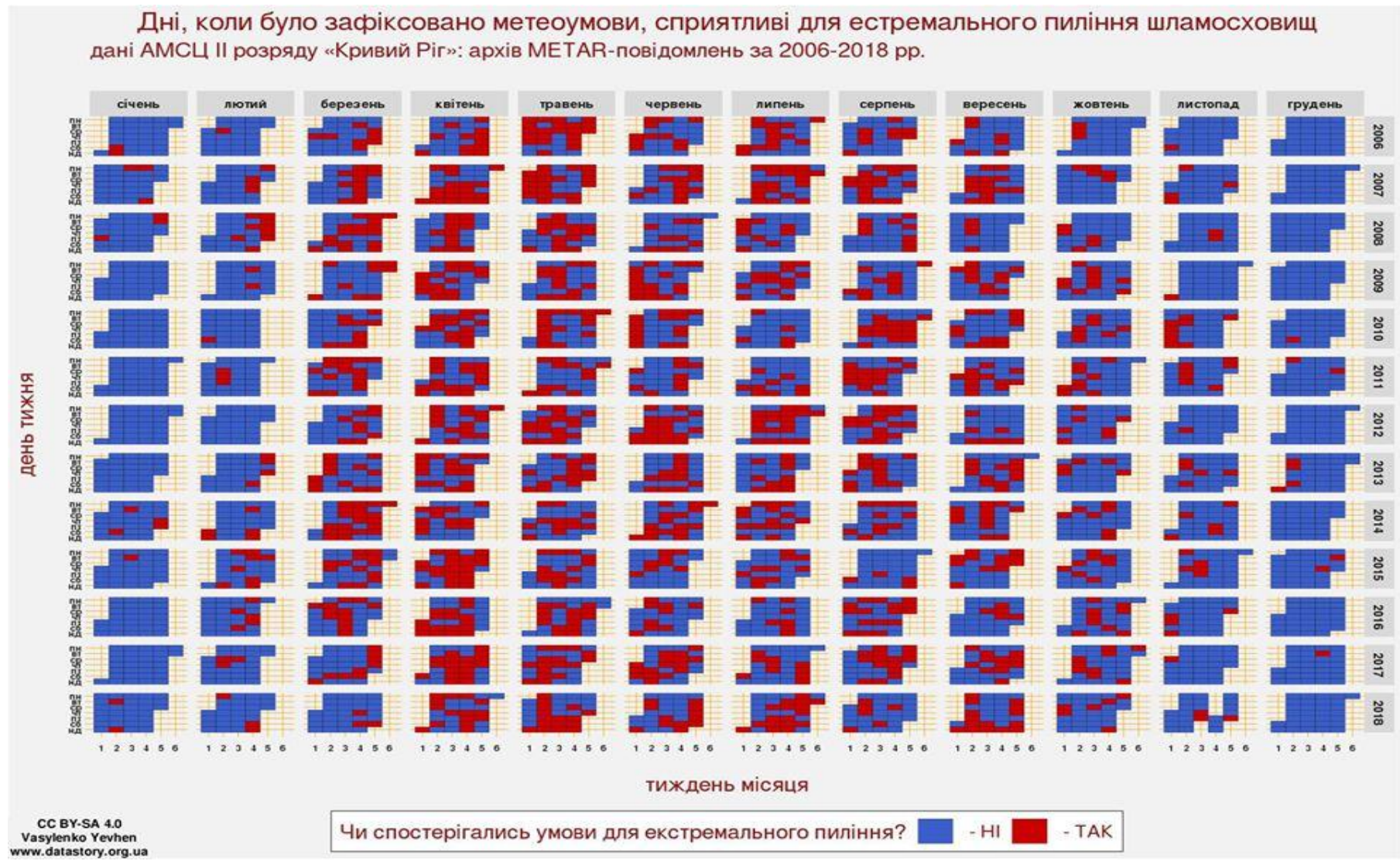


Рисунок 1.9 Розподіл днів, сприятливих для виносу пилу

1.2 Варіанти пиловиділення з поверхонь автодоріг

Основними видами транспорту, що використовуються при перевезеннях копалин у кар'єрах, є залізничний й автомобільний.

Як під час перевезення гірської маси так і при транспортуванні інших вантажів а також при складуванні пустих порід, відбувається рух транспорту по широко розгалуженій мережі доріг, довжина яких постійно збільшується.

Розповсюджена на багатьох промислових підприємствах конструкція дорожнього одягу на скельних ґрунтах, складається із двох або трьох шарів щебеневої суміші різної фракції.

Основа насипу полотна автодороги, що влаштовується на скельному ґрунті, складається з уламків порід шаром 0,3-1,0 м. При цьому максимальний шматок становить не більше 2/3 товщини шару. Порожнечі між ними заповнюються дрібною несортованою гірською масою.

Покриття основи насипу складається із шару фракційних щебенів 20-75 мм товщиною 0,15-0,3 м і по міцності не нижче марки 800.

Верхня частина покриття застеляється кам'яним дріб'язком для запобігання покриття від атмосферних впливів і руйнування колесами автотранспорту. Товщина шаруючи відсипання становить 0,03-0,05 м і називається шаром зношування. Завдяки цьому шару полотно автодороги ущільнюється й вирівнюється, а на його поверхні створюється необхідна шорсткість для задовільного зчеплення коліс із матеріалом дороги.

Для шару автодороги що зношується використовуються щебені фракції менше 10-15 мм і різні технології його зв'язування.

На сьогодні, у зв'язку з відсутністю в'язких матеріалів, при будівництві автодоріг у кар'єрах Кривбаса, для облаштованості шаруючи зношування використовують відходи виробництва щебенів з місцевих порід або сухого магнітного збагачення, у яких присутні й пилоподібні частки.

Таким чином, конструкція щебеневої автодороги сприяє нагромадженню пилу у верхній частині дорожнього одягу як власної, так і принесеної повітряним потоком ззовні.

Забруднення повітряного середовища пилом з автодоріг

Серія спостережень за станом забрудненості пилом на автодорогах кар'єрів ПАТ «Інгулецький ГЗК» і ГЗК ПАТ «АМКР» у літній і зимовий період, що була проведена нашими шановними попередниками [8].

У випадку ПАТ «Інгулецький ГЗК», автодорога, яку досліджували, розташовувалася на уступах кар'єру у районі відміток 12-255 м, а верхній шар її покриття складався в основному з відходів сухого магнітного збагачення з розміром фракції 5-10 мм.

У кар'єрі ГЗК ПАТ «АМКР» спостереження за дорогою здійснювалося в районі нульової оцінки, а її покриття складалося з відходів виробництва щебенів із кристалічних сланців. В обох випадках проби повітря бралися перед повторною обробкою полотна дороги водою. Результати спостережень показали, що забрудненість повітря кар'єру мінеральним пилом коливалася в межах 5-8 мг/м³ (табл. 1.10).

Таблиця 1.10

Результати вимірів забрудненості повітря на автодорогах кар'єрів ПАТ «ІнГЗК» і ГЗК ПАТ «АМКР», не оброблених протипиловими засобами

Горизонт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Характер руху машин/год.	Забрудненість повітря, г/м, на відстані 5-10м
Кар'єр ПАТ «ІнГЗК»				
-255м	29	58	30-40	сер. 5,3
-240м	29	58	60-70	сер. 7,213
-60м	33	52	30-40	сер. 3,71
12м	31	59	50-60	сер. 4,32
Кар'єр ГЗК ПАТ «АМКР»				
0м	25	61	30-40	сер. 6,4

Боротьба з виносом пилу з поверхні автодоріг повинна здійснюється з урахуванням ряду основних факторів, до яких варто віднести:

- рух автотранспорту з великою вантажопідйомністю (100 т і вище) приводить до напруг у матеріалі конструктивних шарів дорожнього покриття, як наслідок, до руйнування зв'язків між зернами щебенів, утворенню нових вільних поверхонь і збільшенню випару вологи. До того ж така взаємодія між автомобілями й матеріалами дорожнього покриття із щебенів сприяє місцевому утворенню пилу;

- нагромадження полідисперсного й полімінерального пилу відбувається не тільки при стиранні щебенів і просипі колесами автомобілів, але й за рахунок постійного його осідання з повітряних потоків якими пил виноситься з інших поверхонь кар'єру;

- у повітря піднімаються в першу чергу частки з вільним двоокисом кремнію, що мають меншу питому вагу і є особливо небезпечні для працівників.

При виборі речовин придатних для обробки поверхні дороги з метою зв'язування дорожнього пилу варто виходити з:

- оцінки їхньої взаємодії з мінеральними частками, що утворюють пил: характеристики змочування, здатності втримувати пил в агрегатному стані, закріплення його поверхні у вологому стані;

- здатності підтримувати поверхню у вологому стані протягом тривалого часу при різних атмосферних умовах протягом усього року;

- відповідності нормам санітарної й пожежної безпеки, бути неагресивним стосовно техніки, що використовується підприємствами та екологічно-безпечними;

- технологія закріплення пилячих поверхонь автодоріг на основі обраних речовин повинна бути економічно і технічно доступною для вітчизняних підприємств[8].

- запропонований засіб бажано має бути вітчизняного виробництва, або з мінімальною кількістю іноземних складових.

1.3 Огляд основних сучасних технологій та засобів що можуть використовуватися для боротьби з пилом

На основі аналізу літературних джерел, та захищених останніми роками дисертацій встановлено, що проблема забруднення повітря пилом, остаточно не вирішена.

Важливим фактором ефективного зниження пилоутворення на поверхнях хвостосховищ і відвалів є створення зв'язаної структури у верхньому шарі покриття, що забезпечувала б його підвищення стійкості як до вітрової ерозії так і до механічного впливу.

Захисний шар повинен мати достатню міцність, вітро-, водо- і температуростійкість, довговічність, бути екологічно безпечним та не змінювати хімічний склад матеріалу (у випадку подальшої переробки). Також бажано обирати засіб, який можна використовувати протягом усього року та з використанням наявної на підприємстві техніки.

Відомо чотири основні напрямки боротьби з пилом на гірничо-видобувних та переробних підприємствах: організаційні, технологічні, технічні і біологічні.

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

Технологічні способи – це в основному заходи по раціоналізації технології робіт, впровадження нових методів і способів видобутку, переробки корисних копалин та гармонізація основних технологічних процесів з урахуванням останніх рекомендацій.

Технічні способи пов'язані із застосуванням технічних засобів, що сприяють зниженню пилоутворення з сухих поверхонь. Вони умовно можуть бути поділені на два основні види: мокрі і сухі.

Біологічні засоби пов'язані з застосуванням матеріалів, що мають органічну основу, а також використання сил живої природи. Але на жаль, використання біологічних методів боротьби з пилом обмежене через неможливість використання даних методів на діючих промислових об'єктах

(хвостосховища, автодороги тощо). Використання цих засобів дає добрі результати в разі їх застосування на відпрацьованих і законсервованих відвалах і хвостосховищах, на яких було проведено певні заходи з рекультивації даних об'єктів.

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. Встановлено і обґрунтовано наявність актуальної науково-практичної задачі, а саме вирішення проблеми виносу пилу з поверхонь хвостосховищ, відвалів і автодоріг.

2. Розглянуто основні технологічні параметри хвостосховищ і автодоріг, що сприяють збільшенню пилового навантаження на персонал підприємств, мешканців прилеглих територій і погіршення загального стану довкілля.

3. Розглянуто основні існуючі на сьогодні напрямки боротьби з виносом пилу з поверхонь хвостосховищ, автодоріг і відвалів.

4. Визначено основні напрямки подальших досліджень питань боротьби з виносом пилу з поверхонь хвостосховищ, автодоріг і відвалів.

2. Характеристика існуючих заходів та засобів зі зменшення пилоутворення на поверхнях хвостосховищ та автодоріг

Для зменшення шкідливої дії складованих хвостів збагачення на здоров'я працівників застосовують різні методи і засоби боротьби з пиловиділенням на хвостосховищах. В основному це досягається за допомогою спеціальних заходів, спрямованих на закріплення сухих поверхонь діючих хвостосховищ.

У Німеччині найбільші успіхи в цьому питанні досягнуті в перетворенні хвостів в будівельну сировину для виготовлення силікатного цементу та легкобетонної цегли.

Крім того, за можливий напрямок утилізації хвостів вважають застосування їх для складання заготовочних матеріалів, бетонних сумішей при зведенні тимчасової кріпи, а також як підстилаючий матеріал при пристрої перегонів для безрейкової техніки. У Японії для отримання формувального піску здійснюють класифікацію хвостів по класам крупності і використовують крупні фракції як сировину в скляній промисловості.

Можливі області використання хвостів :

Наприклад, як компонент при виробництві дрібних стінних блоків, силікатної цегли і, у вигляді окатишів для виробництва бетону і портландцементу.

Проте перспективні шляхи утилізації хвостів в даний час здатні тільки частково понизити об'єми складованих відходів збагачення, але не розв'яжуть проблему остаточно.

На сьогодні у вітчизняній та закордонній практиці вдаються до різноманітних безвідходних (маловідходних) технологій використання хвостів та їх часткової утилізації. У першу чергу це стосується використання хвостів у будівництві [9-13]. На рис. 2.1 подано можливі області застосування хвостів мокрої магнітної сепарації залізистих кварцитів. Найбільше розповсюдження на сьогодні одержало використання хвостів для

виготовлення силікатної, цементної та легкобетонної цегли, а також використання у скляній промисловості, при виробництві дрібних стінових блоків, декоративної плитки тощо.

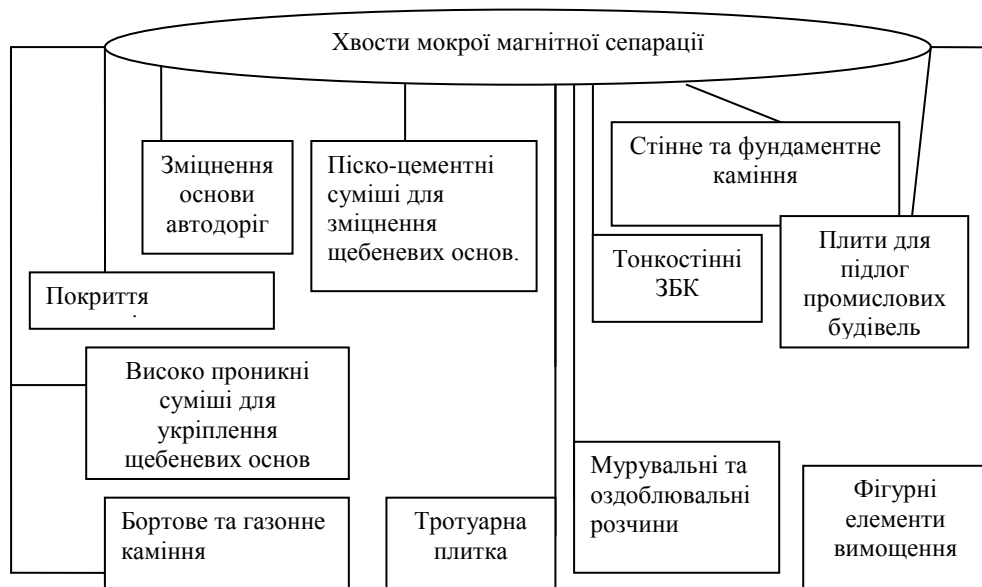


Рисунок 2.1 Сфери використання хвостів мокрої магнітної сепарації

Також на перешкоді утилізації хвостів і використанню їх як сировини для будівельних матеріалів та в інших цілях є зберігання їх як потенційного техногенного родовища корисних копалин для можливого подальшого дозбагачення.

На даний момент відомо певні заходи зі зменшення пилоутворення на хвостосховищах. Велике практичне використання набули способи та засоби зменшення пилоутворення на сухих пляжах хвостосховищ, які вже відсипано до проектних відміток. Менш відомі та придатні до використання заходи по боротьбі з пилом на діючих хвостосховищах.

В окремих випадках відомо використання механічного способу закріплення поверхонь пилоутворення, що реалізується шляхом нанесення на них гравію, щебеню, крупного піску, глини, спеціальних гранул чи окатишів. Їх наносять звичайно суцільним шаром потужністю у декілька сантиметрів, чи смугами – для економії. Однак цей спосіб не знайшов практичного

застосування через його значну трудомісткість та порівняно високі витрати. Науково-дослідним інститутом безпеки праці у гірництві (ДП НДІБПГ) для зменшення пилоутворення з поверхні хвостів, щоб не ускладнювати технологічний процес при вторинній їх переробці, розроблено закріплювач, який має у своєму складі глину з наповнювачами у вигляді хвостів збагачення, соломи, очерету. Він наноситься на поверхню у вигляді шару потужністю 40 мм, що забезпечує практично повну локалізацію поверхні. Але це також потребує використання спеціального обладнання як для приготування композиції так і для її нанесення.

Також на перешкоді такому рішенню стоять в тому числі чинні НПАОП, зокрема вимоги «Правила охорони праці під час дроблення і сортування, збагачення корисних копалин і огрудкування руд та концентратів» (НПАОП 0.00-1.61-12).

Свого часу, найбільш прийнятним і легко здійснюваним методом боротьби з пилоутворенням діючих хвостосховищ вважали використання в якості закріплювача технічної води (гідрознепилювання) [5].

Запобігти винесенню пилу можна лише шляхом підтримки певного постійного рівня води над поверхнею хвостосховища, що складається, або періодично її зволожуючи. Підтримка рівня води над поверхнею залежить від багатьох факторів (ліміту води, параметрів насосної станції) та визначається рядом складностей (стан гідроізоляційного шару чаші хвостосховища, підтоплення підземних комунікацій та прилеглих територій тощо). Також на заваді широкого використання цього методу, стоїть сама технологія картового намиву хвостосховищ. Так, при нарощуванні хвостосховища, постійно ведуться роботи з відсіпки дамб нових карт і цей процес потребує спуску води в місцях будівництва. Тому більш раціональним було обрано метод гідрознепилювання періодичним зрошенням поверхні хвостосховища, запропонований ДП НДІБПГ. Він забезпечує необхідну вологість поверхні, при якій винесення пилу спостерігатися не буде.

Гідрознепилювання може здійснюватися дощувальними апаратами, встановленими як на стаціонарних (рис. 2.2) так і на пересувних (рис. 2.3) системах дощування.

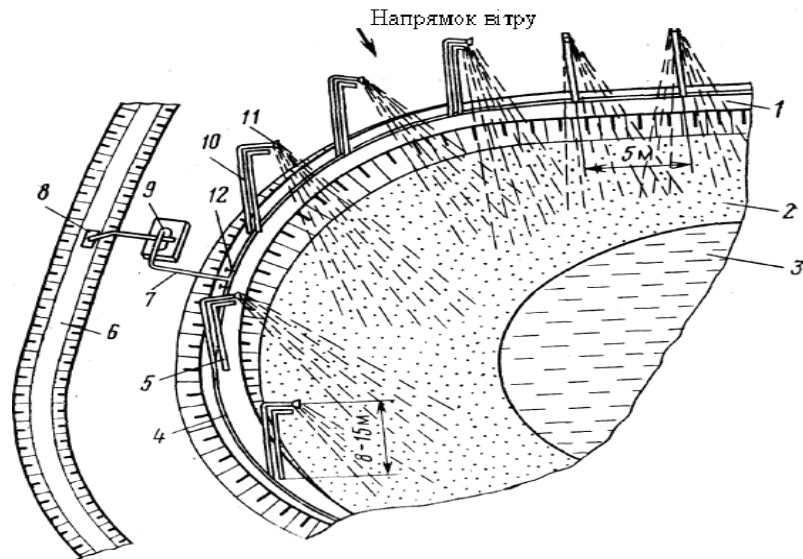


Рисунок 2.2 Схема системи аерозольної гідрозавіси по периметру хвостосховища (навітряна сторона):

1 - дамба; 2 - зневоднений пляж хвостосховища; 3 - ставок; 4 - роздавальний водовід; 5 - опора; 6 - водозбірна канава; 7 - магістральний водовід; 8 - забірний водовід; 9 - насосна станція; 10 - розвідний водовід; 11 - зрошувачі; 12 - автоматичні вентиля

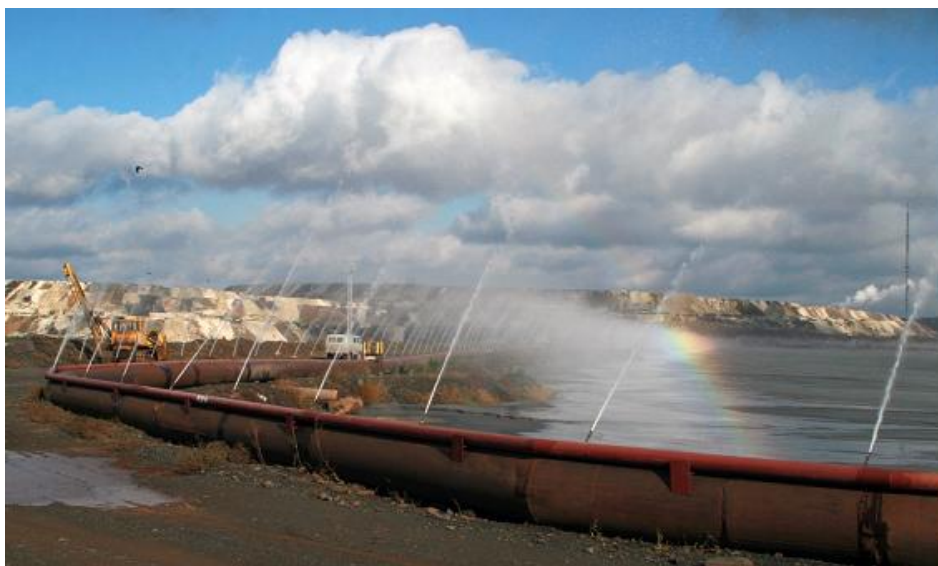


Рисунок 2.3 Система аерозольної гідрозавіси по периметру хвостосховища

Опори системи було встановлено на дамбі на висоті 8 м з кроком 5 м. Для створення завіси використовувалася технічна вода, що подавалася в систему від фільтраційної насосної станції через забірний водовід.

Дослідження показали, що витрати води в системі становлять близько $4 \text{ м}^3/\text{год.}$ на 100 м завіси чи $0,00025 \text{ л/м}^3$ повітряного потоку. Використання завіси дозволило скоротити винесення пилу за межі ділянки розташування завіси до 42%.

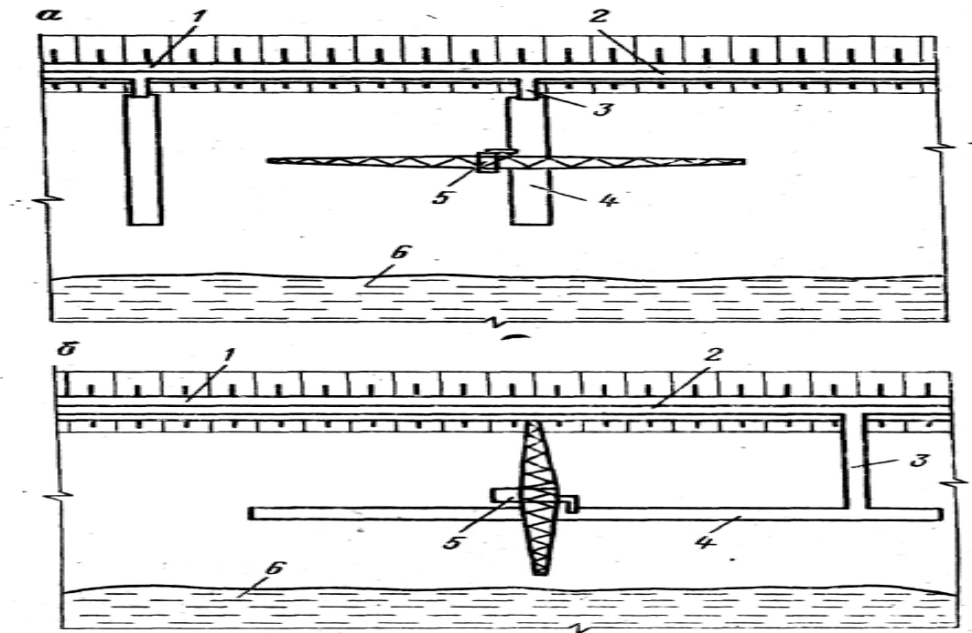


Рисунок 2.4 Схема дощування зневодненої поверхні з використанням агрегату ДДА-100 МА перпендикулярно (а) і паралельно (б) греблі:

- 1 - дамба; 2 - магістральний трубопровід; 3 - роздавальний трубопровід;
4 - лоток; 5 - дощувальний агрегат; 6 - ставок

На Полтавському ГЗК при рекультивації ділянки хвостосховища випробувано таку схему гідрознепилювання. На ділянку у районі безпосереднього проведення робіт пульпопроводом подавали воду. Перпендикулярно до пульпопроводу покладали водоводи, вздовж яких через 30 м розташували стояки з розпилювачами. Вода з пульповоду водогонами надходила до розпилювачів, зрошуючи певну ділянку поверхні

хвостосховища. Вжиті заходи сприяли в тому числі також зменшенню забруднення атмосфери пилом при нарощуванні дамби хвостосховища.

Але боротьба з пилом шляхом гідрознепилювання має такі основні недоліки, як неможливість постійного зрошення поверхні хвостів у зимовий період, недостатній термін ефективного закріплення влітку, підвищення кількості стоків тощо необхідність облаштування спеціальних установок тощо.

Також можна згадати неоднозначний досвід ТОВ «Миколаївський глиноземний завод», що мають намір боротись з виносом пилу з поверхні хвостосховища шляхом переміщення вологих пластів матеріалу з глибини хвостосховища і покриття ними сухої поверхні (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 Шнекохід «Миколаївського глиноземного заводу»

Але на нашу думку такий спосіб призведе до збільшення витрат при неочевидній ефективності методу, оскільки вологий матеріал пласту, буде швидко висихати, розпадатись і ставати джерелом винесення пилу до атмосферного повітря. Також використання такої технології потребуватиме

закупівлі спеціальної техніки та проведення навчання персоналу для ефективного її використання у місцевих умовах.

Відома схожа технологія боротьби з виносом пилю з золовідвалів, для цього було запропоновано використання такої спеціальної техніки як ґрунтометів, що рухаючись по периметру золовідвалу завдяки зміні кута насадку можуть покривати пилячі поверхні шаром ґрунту, здатним протистояти впливу вітрової ерозії.

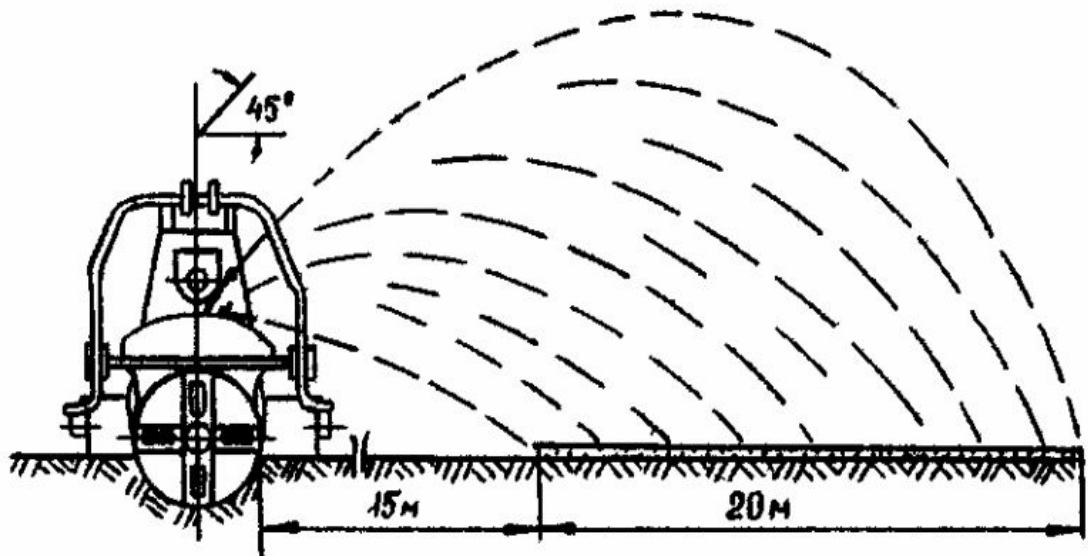


Рисунок 2.6 Робота ґрунтомету на золовідвалі

Але до недоліків такого способу відноситься як необхідність у закупівлі спеціальної техніки, так і те, що ця техніка може використовуватись лише на м'яких ґрунтах без значного вмісту каміння. Дамби обвалювання, верхня поверхня яких дуже часто і є тимчасовою дорогою навколо карти хвостосховищ, за самою технологією будівництва складається зі скельного матеріалу різного фракційного розміру.

Тож можна стверджувати, що способи закріплення пилячих поверхонь діючих хвостосховищ є різноманітними але для надійного тривалого процесу зменшення виносу пилю в атмосферне повітря, в місцевих умовах вище перераховані способи не підходять з цілої низки причин.

На нашу думку, оптимальним способом закріплення пилячих поверхонь діючих хвостосховищ, буде їхня обробка хімічними розчинами.

2.1 Пошук та обґрунтування використання пілозв'язуючих розчинів

Технологія фізико - хімічного закріплення ерозійно небезпечних поверхонь хвостосховищ включає комплекс операцій, виконуваних в певній послідовності:

1. приготування закріплювача;
2. доставка закріплювача до місця нанесення;
3. 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 дешевші хімічні засоби.

Одним із методів боротьби з пилом на зневоднених ділянках діючих хвостосховищ є закріплення їх поверхні хімічними речовинами. 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 зв'язувальних речовин та структуро-формульних розчинів. Поверхневим проникненням створюється тонка кірка чи плівка з високим вмістом в'язучої чи структуро-формульної речовини і, відповідно, високої міцності при незначних витратах закріплювача. Для цього використовують дешеві і недефіцитні речовини чи їх розчини або ж розчини дорогих речовин, але в малих концентраціях. Найбільш дешевим та прийнятним розчинником є вода. Тому в'язучі речовини здебільшого повинні мати властивості розчинятися у воді, аби з них можна було б виготовити водні емульсії, але при внесенні в ґрунт вони повинні протистояти вилуговуванню чи вимиванню водою.

Як в'язучі та структуро-формульні матеріали знайшли використання відходи різноманітних виробництв: целюлозно-паперової промисловості,

бавовняно-переробної та нафтовидобувної промисловостей, відходи виробництва органічних речовин.

Значні за об'ємом та результатами дослідження із закріплення пляжів діючих хвостосховищ бітумною емульсією було проведено в ДП НДІБПГ [14]. 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. Дослідження 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.

Серед відходів найбільш дослідженими є сульфітно-спиртова барда, сульфітно-дріжджева бражка, бавовняний гудрон, госиполова смола, різноманітні похідні лігнину (гідролізований нітролігнин), лігносульфати, гліцериновий гудрон та інші [15-16]. Ці речовини в рекомендованих закріплюючих розчинах використовуються або як основні інгредієнти, або в якості додатків (домішок) до органічних в'язучих (наприклад – продукти отримані при переробці нафти).

Недолік розчинів на основі нафтопродуктів – в їх токсичності (мають у своєму складі бенз(а)пірен), порівняно високій вартості, певному дефіциті продуктів нафтопереробки а також у вимиванні олійних фракцій з їх складу дощами і, отже у забрудненні поверхневих та підземних вод.

На основі сульфітно-спиртової барди розроблено розчин, до якого для покращення водостійкості додають 0,2-0,5% поліакриламід. Також простотою приготування відрізняється розчин для закріплення поверхонь пилоутворення, що є сумішшю гліцеринового гудрону (відхід миловарної промисловості) з водою.

Перелік полімерних речовин, досліджуваних як в'язучі та структуроформувальні речовини, доволі широкий. Серед них латекси, поліакриламід, сечовино-формальдегідна смола, співполімери, швидкозастигаючі розчини полімерних смол, полікомплекси тощо.

Можливість створення монолітних систем з високими показниками міцності встановлено при укріпленні горизонтальної поверхні й укосів хвостосховищ відповідними розчинами, що швидко застигають (ШЗР), полімерними смолами.

Серед нових полімерів і полімерних композицій особливе місце займають полікомплекси (ПК). Вони мають широкий комплекс корисних властивостей : відмінна структуроутворююча здатність, стійкість до водної ерозії, технологічність. ПК утворюються при змішуванні двох водних розчинів полімерних компонентів. Одним з них може бути, наприклад, поліакрилова кислота, а іншим – лігносульфанати, карбідна смола. Однак, вартість закріплення доволі висока. Перспективність використання полімерних закріплювачів полягає у тому, що ними можна покривати поверхню будь-яких розмірів.

До фізико-хімічного методу стабілізації поверхні пилоутворення належить силікатування. Високу ефективність використання силікатних розчинів, для закріплення поверхні хвостів, відзначають як вітчизняні дослідники, так і закордонні.

До недоліків методу належать : короткий термін служби покриття, здатність до розмивання, а також дефіцитність рідкого скла.

Рекомендації щодо використання чисто фізичного методу стабілізації поверхні (гідрознепилювання), в основному, зводяться до підтримання необхідного рівня води на хвостосховищі та створення режиму сароса пульпи, що забезпечує достатню вологість усієї поверхні хвостів. Зрошення поверхні водою поливальними машинами з метою попередження пилоутворення багатьма авторами визнано недоцільним, оскільки потребує значних витрат як води так і паливно-мастильних матеріалів.

Роботи ДП НДІБПГ з дослідження різноманітних композицій закріплювачів хвостів у лабораторних і промислових умовах Кривбасу Використання 0,1 % розчину поліакриламід (ПАА) для закріплення поверхні хвостосховищ є не ефективним.

Для довготермінового закріплення ділянок діючих хвостосховищ (до 1 року) розроблено та досліджено в промислових умовах новий закріплювач – спінена швидко застигаюча композиція об'ємного складу, % : смола КФ-МТ – 15-30, піноутворювач ПО-І – 2-3, затверджувач (H_3PO_4 , H_2SO_4 , HCl) – 3-4, решта - вода. Для одержання ефективного протиерозійного покриття на ділянках з різнорідною поверхнею швидкодіючу композицію доцільно наносити на поверхню хвостів вологістю 4-10% у вигляді 5-6-кратної піни шаром 2-3 см.

Оптимальні витрати робочих розчинів реагентів при хімічному способі – 1,5 л/м². Обов'язковою умовою ефективності хімічного закріплення є проведення робіт протягом короткого терміну (3-4 тижні), відразу ж після сходження снігового покриву. Відзначається, що при недотриманні заданих умов, ситуація значно ускладнюється перенесенням пилу з необроблених ділянок хвостосховищ на оброблені.

Використання розчинів на основі бентонітових сумішей для формування захисного шару на поверхні хвостосховищ має такі основні недоліки, як неможливість використання у зимовий період та складність нанесення.

Закріплювач на основі сирого сульфатного мила

На деяких хвостосховищах ГЗК України як закріплювач застосовували розчин сирого сульфатного мила [17]. Це побічний продукт сульфатного варіння целюлози, що виділяється при відстоюванні сульфатного луку. Перевагою використання даного розчину, є можливість використання вітчизняної сировини.

Суміш сирого сульфатного мила (ССМ) з водою (при концентраціях ССМ 5-25%) дозволяють зменшити пилоутворення на 99,4-100% - при оптимальних умовах.

Оптимальний результат при використанні сульфатного мила для закріплення хвостів такий: при витратах 4-5 л/м² стійкість закріплення - до 15 діб. За даними ГЗК, при збільшенні витрат (навіть до 15 л/м²) стійкість закріплення не збільшується. Термін ефективності ССМ порівняно (порядку 15-20 діб) невеликий, що призводить до збільшення витрат при його використанні як закріплювача поверхонь пилоутворення хвостосховищ і відвалів.

До недоліків ССМ можна також віднести складність транспортування та необхідність спеціальної підготовки перед використанням. Спеціальна підготовка (приготування розчину відповідної концентрації) потребує відповідного устаткування та спеціальної підготовки у персоналу. Також розчин ССМ має в своєму складі значну частку води, а отже не може використовуватись протягом осінь-зимового періоду. Також на сьогодні існують певні складності із постачанням засобу.

Закріплювач на основі карбомідної смоли

Безпосередньо перед закріпленням готують розчин смоли. Для цього з складу універсального вузла розчину з ємності із смолою через дозатор вона подається в резервуар . Після цього туди ж подається вода до співвідношення об'ємів смоли і води 1:1. Розчин перемішують протягом 15 хв. до повного розчинення смоли.

Для закріплення схилів гребель рекомендовано більш концентрований розчин карбомідної смоли КФ-МТ. Початкові компоненти готують аналогічно, але при первинному розчиненні смоли у воді співвідношення об'ємів смоли і води повинно бути 2:1, а концентрація розбавленої соляної кислоти повинна складати 0,5%.

Спосіб не можна рекомендувати до впровадження в місцевих умовах через необхідність використання спеціального устаткування (додаткові витрати) та кислоти (можливі проблеми при неправильному зберіганні, необхідність спеціально навченого персоналу, тощо).

Закріплювач препарат К-9

Технологічна послідовність приготування розчину препарату К-9 на універсальному розчинному вузлі наступна: з складу із спеціальних ємностей насосом закачується в ємність дозування, а звідти в резервуари. Одночасно в резервуар подається вода, при цьому співвідношення маси полімеру і води повинно бути 1:19.

Розчин перемішується циркуляцією з резервуару в резервуар протягом не менше ніж однієї години. Особливістю даного розчину, є те, що одержаний розчин не розшаровується та може зберігатися тривалий час.

Недоліком є необхідність використання порівняно складного спеціального устаткування та неможливість використання полімеру при низьких температурах повітря.

Закріплення глинистою суспензією

Згідно рекомендацій, закріплення пляжів хвостосховищ глинистим розчином здійснюється при позитивних температурах з витратою 3-3,5 л/м². Потреба в початкових компонентах для закріплення 10 га поверхні з вказаною витратою в середньому складає: глина -19,2 т; ПВЛР - 7,5 т; рідке скло - 33,3 т ($\rho=1,4-1,5$ г/см³); вода - 272,8 т. Густина розчину 1,04-1,05 т/м².

Недоліки даного способу – неможливість використання взимку, порівняна складність виготовлення розчину, необхідність спеціального устаткування як для приготування розчину так і для його нанесення на пилячі поверхні (рис. 2.7.-2.8.).

Також ми не можемо рекомендувати даний метод боротьби з виносом пилу на діючих об'єктах, особливо на автодорогах.

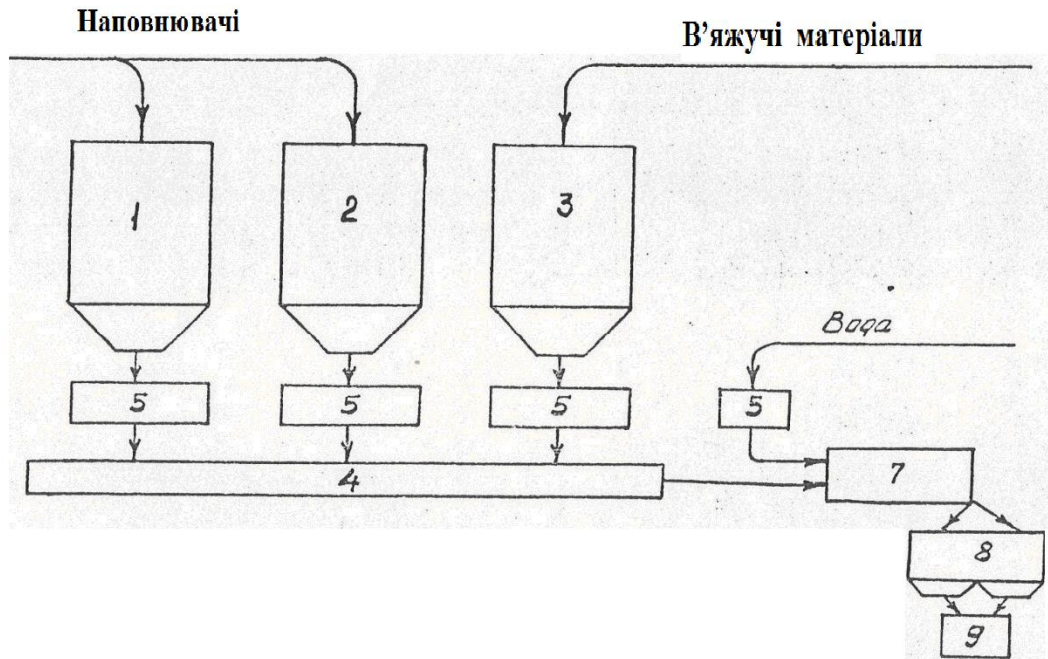


Рисунок 2.7 Установа для підготовки в'язучої композиції

1, 2, 3 – бункери для в'язучого матеріалу (глина) та заповнювачів (хвости, солома), 4 – транспортер, 5 – дозатори, 7 – змішувач, 8 – роздача, 9 – транспортний засіб.

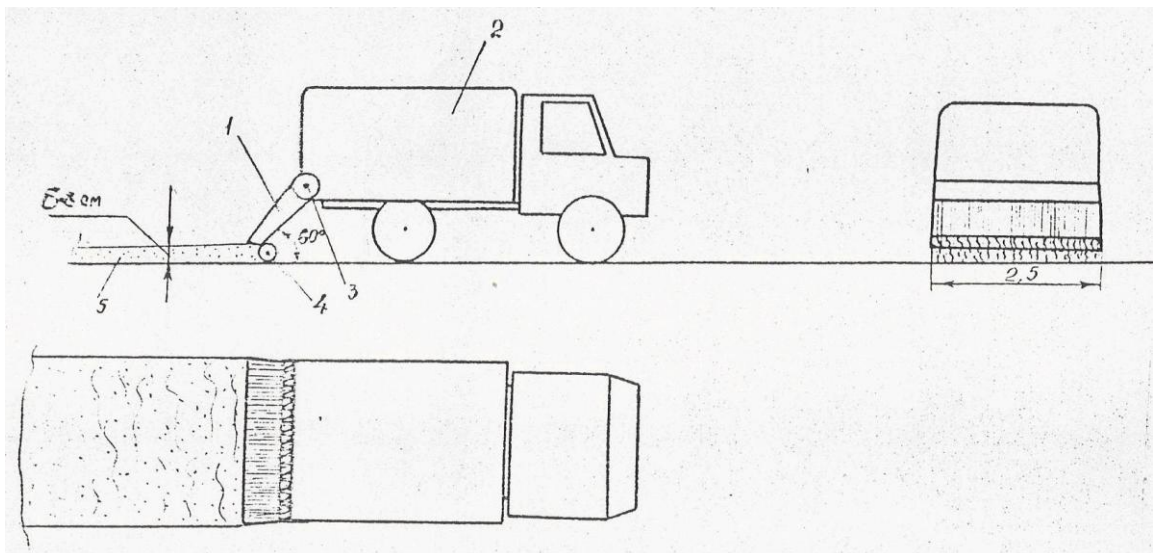


Рисунок 2.8 Закріплення поверхні високов'язким глинистим розчином

1 – лоток, 2 – ємність агрегату, 3 – дозатор, 4 – регулювальне колесо, 5 – шар суміші.

Закріплення шахтною водою

В основному шахтну воду на виробництві використовують на технологічні потреби, на потреби допоміжного виробництва, на господарсько – побутові та питні потреби. Технологічні потреби включають в себе наступні напрямки водоспоживання : пилопригнічення та протипожежний захист. У розрахунках норм споживання води на боротьбу з пилом враховується її витрата : на зрошення в процесі виїмки, при проходці підготовчих виробок, при транспортуванні гірничої маси на пунктах пересипу і перевантаження, для нагнітання води в пласт, на пристрій водяних завіс, а також на здійснення цілої низки допоміжних виробничих операцій з використанням води в незначних кількостях. Використання високомінералізованої шахтної води буде доцільним в певних випадках для додавання до різних композицій, призначених для короткотермінового закріплення пилячих поверхонь.

Проаналізувавши характеристики різних закріплювачів можемо виділи недоліки, які не дозволяють ефективно використовувати їх для закріплення поверхонь хвостосховищ.

Також необхідно враховувати необхідність нанесення розчину дистанційно (без заїзду на поверхню карт хвостосховища з огляду на вимоги безпеки) і можливість використовувати вже готові розчини без будівництва спеціальних дільниць для приготування сумішей.

Отже, вирішення проблеми виносу пилу з техногенних поверхонь, необхідно вибрати інший тип закріплювача з більшими строками дії та без зазначених недоліків.

2.2 Огляд основних способів і засобів закріплення автомобільних доріг

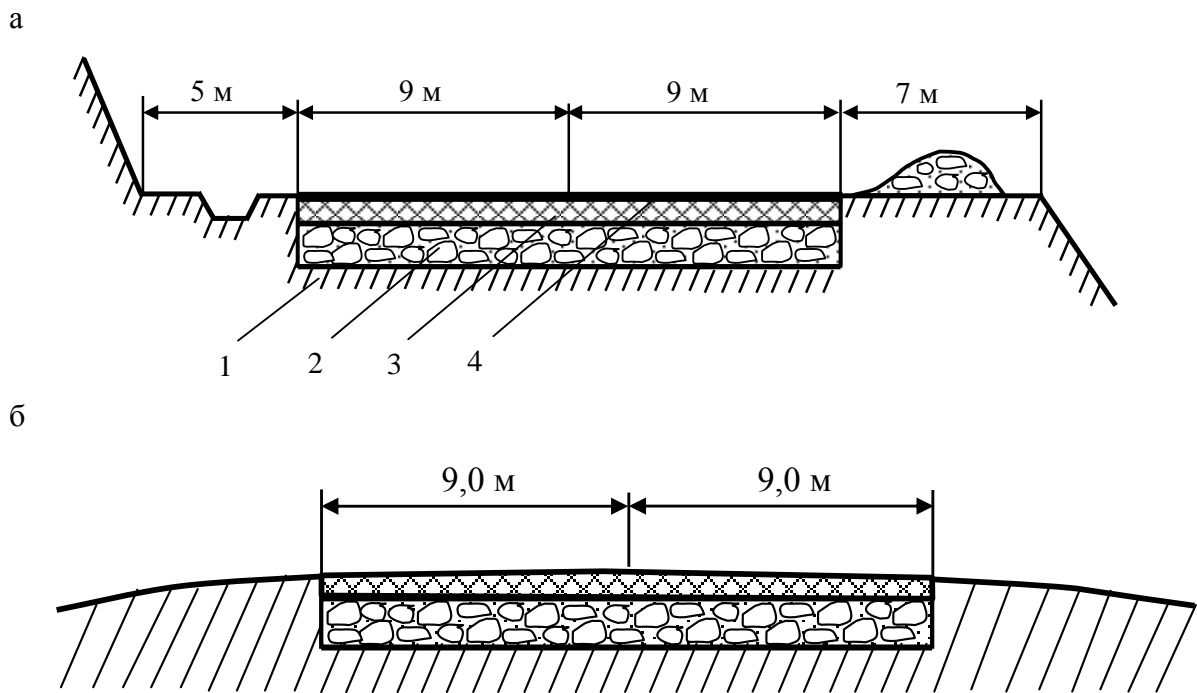
Основними видами транспорту, що використовуються при перевезеннях копалин у кар'єрах, є залізничний й автомобільний. При цьому по маневреності й пропускній здатності доріг автотранспорт є переважаючим. Його частка в перевезеннях становить: у США, Канаді й Південній Америці - близько 80%, в Австралії - 100%, у Південній Африці, Україні - більше 90%. У країнах СНД у цілому його частка становить близько 75% [8].

У залізорудних кар'єрах Кривбасу перевезення гірської маси здійснюють в основному великовантажними автомобілями по широко розгалуженій мережі доріг, довжина яких зі збільшенням глибини кар'єрів постійно збільшується.

На дорогах з нежорстким покриттям пил утворюється за рахунок стирання породи, що заноситься вітром, колесами автомобілів, зсипається з кузовів і т.д. Крім того, пил і пилоподібні частки осідають на поверхні полотна дороги з повітряного середовища кар'єру, куди попадають у результаті проведення інших робіт, що пов'язані з видобутком корисних копалин [8].

Світовий досвід експлуатації доріг із твердим покриттям показав їхню недостатню ефективність через високу вартість будівництва, більших експлуатаційних витрат на ремонтні роботи й боротьбу з пилінням.

Тому в залізорудних кар'єрах України для транспортування гірської маси великовантажними (110-130 т) автомобілями широке застосування знайшли тимчасові технологічні автодороги нежорсткого типу, що будуються у відповідності зі СНіП 2.05. 07-85.1989 (рис.2.9).



Риунок. 2.9 Кар'єрні автодороги:

а – для скельних ґрунтів; б – для відвалів: 1 – скельний ґрунт; 2 – підстава; 3 – шар розклинення; 4 – шар зношування

Розповсюджена конструкція дорожнього одягу на скельних ґрунтах складається із двох або трьох шарів щебеневої суміші різної фракції.

Основа насипу полотна автодороги, що влаштовується на скельному ґрунті, складається з уламків порід шаром 0,3-1,0 м. При цьому максимальний шматок становить не більше $\frac{2}{3}$ товщини шару. Порожнечі між ними заповнюються дрібною несортованою гірською масою.

Покриття основи насипу складається із шару фракційних щебенів 20-75 мм товщиною 0,15-0,3 м і по міцності не нижче марки 800.

Верхня частина покриття застеляється кам'яним дріб'язком для запобігання покриття від атмосферних впливів і руйнування колесами автотранспорту. Товщина шаруючи відсипання становить 0,03-0,05 м і називається шаром зношування. Завдяки цьому шару полотно автодороги ущільнюється й вирівнюється, а на його поверхні створюється необхідна шорсткість для задовільного зчеплення коліс із матеріалом дороги.

Для шару автодороги що зношується використовуються щебені фракції менше 10-15 мм і різні технології його зв'язування.

Так, рекомендовано для шару зношування використати щебені фракції 2,5-5 мм, 5-10 мм й 10-15 мм переважно кубовидної форми, що зв'язують емульсійно-мінеральними сумішами або бітумним шламом[8].

Існують рекомендації використання піску, обробленого розчином 50% хлористого кальцію.

В інших джерелах для зв'язування щебенів рекомендується використати глину.

При відсутності в'язких матеріалів О.І. Іголкін рекомендує для зміцнення шаруючи зношування використати несортовані щебені, до складу якого крім кам'яного дріб'язку повинні входити й пилоподібні частки (табл.2.1).

Таблиця 2.1

Суміші для верхнього шару покриття дорожнього одягу

Зміст фракцій у щебені, %, розміром				Міцність суміші, МПа
Більше 25 мм	Більше 2 мм	Дрібніше 0,5 мм	Дрібніше 0,05 мм	
Більше 45	більше 85	До 4	до 3	100
Більше 30	більше 70	До 4	до 7	80
Більше 20	більше 60	До 6	до 10	70
Більше 15	більше 50	До 6	до 12	60

У цьому випадку пилоподібні частки цементують кістякові зерна й шар зношування автодороги стає більш монолітним.

На сьогодні, у зв'язку з відсутністю в'язких матеріалів, при будівництві автодоріг у кар'єрах Кривбаса, для облаштування шарів зношування використовують відходи виробництва щебенів з місцевих порід або сухого магнітного збагачення, у яких присутні й пилоподібні частки.

Таким чином, конструкція щєбеневої автодороги сприяє нагромадженню пилу у верхній частині дорожнього одягу як власної, так і принесеної ззовні.

Забруднення пилом автодоріг повітряного середовища

Серія спостережень за станом забрудненості пилом на автодорогах кар'єрів ПАТ «ІнГЗК» і ГЗК ПАТ «АМКР» у літній і зимовий період, що була проведена нашими шановними попередниками [8].

У першому випадку автодорога розташовувалася на уступах у районі відміток 12-255 м, і верхній шар її покриття складався з відходів сухого магнітного збагачення фракції 5-10 мм. У кар'єрі ГЗК ПАТ «АМКР» спостереження за дорогою здійснювалося в районі нульової оцінки, а її покриття складалося з відходів виробництва щебенів із кристалічних сланців. В обох випадках проби повітря бралися перед повторною обробкою полотна дороги водою. Результати спостережень показали, що забрудненість перебувала в межах 5-8 мг/м³ (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Забрудненість повітря на автодорогах кар'єрів ПАТ «ІнГЗК» і ГЗК ПАТ «АМКР», не оброблених протипиловими засобами

Горизонт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Характер руху машин/год.	Забрудненість повітря, г/м, на відстані 5-10м
Кар'єр ПАТ «ІнГЗК»				
-255м	29	58	30-40	сер. 5,3
-240м	29	58	60-70	сер. 7,213
-60м	33	52	30-40	сер. 3,71
12м	31	59	50-60	сер. 4,32
Кар'єр ГЗК ПАТ «АМКР»				
0м	25	61	30-40	сер. 6,4

Аналіз даних робіт УкрНДІПромМедицини показує, що перевищення ПДК пилу в повітрі кар'єрів при різних технологічних процесах визначає рівень захворюваності пиловим, токсично-пиловим бронхітом [8] працівників, пов'язаних з переміщенням вантажів, облаштуваністю й ремонтом автодоріг (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Частота виявлених профзахворювань працівників основних професій, пов'язаних з переміщенням гірської маси

Професія	Кількість виявлених випадків	
	Абсолютне	%
Машиністи екскаваторів й їхніх помічників	89	53,9
Машиністи тепловозів, електровозів	35	21,2
Водії великовантажних автосамоскидів	27	16,4
Машиністи бульдозерів, тракторів	10	6,1
Машиністи дрезин	2	1,2
Робітники автодоріг	2	1,2

Боротьба з виносом пилу з поверхонь автомобільних доріг

Дослідження ефективності гідрознепилення на автомобільних дорогах

При відсутності засобів закріплення пилячих поверхонь, основою яких є матеріали органічного походження, зв'язування пилу, на автомобільних дорогах за допомогою води є одним з найпростіших і найбільш поширених способів [8].

Ефективність зв'язування пилу водою заснована на коагуляції мінеральних часток в агрегати, які під дією повітряного потоку не можуть планувати, тобто виноситися у повітря. Досягається це тим, що сполучною ланкою між мінеральними частками або між часткою й поверхнею дороги виступають водяні містки або манжети.

Одночасно у водяних манжетах виникає тиск що «розклинює», на величину якого впливає стан pH середовища рідини. А. Д. Зимоном експериментально доведене, що відхилення від нейтральної реакції середовища убік кислоти ($pH \approx 2,5$) або лужний ($pH \approx 8-10$) знижує злипаємість часточок у моношарі до твердої поверхні в порівнянні з дистильованою водою від 2 до 10 разів.

З іншого боку, у такому середовищі навколо пилинок утвориться сольвантна оболонка, що перешкоджає зближенню порошин [8]. Це сприяє прискоренню випару вологи, після цього частки пилу залишаються в роз'єднаному стані. Такий процес веде до швидкого руйнування цілісності сипучого середовища й вторинному утворенню пилу при механічному впливі.

Установлено [8], що в автодорогах нежорсткого типу відсутній винос пилу, якщо вологість сипучого середовища перебуває вище 6% стосовно маси сухого матеріалу, що відповідає 15-16% стосовно обсягу сипучого середовища при найбільш щільній укладці. У цьому випадку ефективність придушення пилу водою перебуває в межах 80-85%. Однак тривалість ефективної дії поливу водою автодороги залежить від температури й відносної вологості повітря. В умовах високої температури й низкою вологості повітря ефективність поливу водою автодоріг різко знижується. Так, при температурі повітря плюс 27-30°C і відносної вологості 30% час ефективної дії поливу становило 10-15 хв.

Такім чином, в умовах жаркої пори року ефективно пилоподавлення до ГДК за допомогою використання води здійснювався протягом нетривалого часу і після закінчення 2,5-3 годин досягало 3,5-4 мг/м³ і вище [8].

Отже, при поливі автодороги водою спостерігається короткочасна, хоча й високій ефективності придушення пилу за рахунок її коагуляції водяними містками. Однак тривалість дії ефективного закріплення пилячої поверхні на автодорогах триває від 10 до 60 хвилин.

Обґрунтування вибору засобів знепилення кар'єрних автодоріг

Основним недоліком автомобільних доріг всіх конструкцій і типів є їхня здатність утримувати дрібнодисперсний пил за рахунок нерівної й шорсткуватої поверхні. Цей недолік властивий більшою мірою технологічним щебеним і ґрунтовим автомобільним дорогам. З іншого боку, присутність пилу обов'язково, тому що вона виконує цементуючу роль між кістяковими зернами щебеневої суміші.

Знепилення автодоріг повинне здійснюється з урахуванням ряду факторів, до яких варто віднести:

- рух автотранспорту з великою вантажопідйомністю (100 т і вище) приводить до напруги у матеріалі конструктивних шарів дорожнього покриття, як наслідок, до руйнування зв'язків між зернами щебенів, утворенню нових вільних поверхонь і збільшенню випару вологи. До того ж така взаємодія між автомобілями й матеріалами дорожнього покриття із щебенів сприяє місцевому утворенню пилу;
- нагромадження полідисперсного й полімінерального пилу відбувається не тільки при стиранні щебенів і просипі колесами автомобілів, але й за рахунок постійного його осідання з повітряних потоків;
- у повітря піднімаються в першу чергу частки з вільним двоокисом кремнію, що мають меншу питому вагу.

При виборі речовин придатних для зв'язування дорожнього пилу варто виходити з:

- оцінки їхньої взаємодії з мінеральними частками, що утворюють пил: характеристики змочування, здатності втримувати пил в агрегатному стані, закріплення його поверхні у вологому стані;
- здатності підтримувати поверхню у вологому стані протягом тривалого часу;
- відповідності нормам санітарної й пожежної безпеки, бути неагресивним стосовно техніки і природи;

- технологія закріплення пилячих поверхонь автодоріг на основі прийнятих речовин повинна бути економічно і технічно доступною.

Основні способи і засоби закріплення автомобільних доріг

По призначенню автомобільні дороги в кар'єрах підрозділяються на постійного й тимчасові (перехідного типу).

Постійні, як правило, є дорогами твердого типу (бетонні, асфальтові або асфальтобетонні), а тимчасові (щебеневі, гравійні або ґрунтові) - нежорсткого.

На дорогах з нежорстким покриттям пил утворюється за рахунок стирання породи, що заноситься вітром, колесами автомобілів, зсипається з кузовів і т.д. Крім того, пил і пилоподібні частки осідають на поверхні полотна дороги з повітряного середовища кар'єру, куди попадають у результаті проведення інших робіт, що пов'язані з видобутком корисних копалин [8].

Тому основним способом боротьби з пилінням таких доріг є очищення їхньої поверхні від просипі і пилу. При цьому очищення застосовується як мокре, так і сухе.

Мокре очищення дороги здійснюється автомобілями, обладнаними струменевими гідрантами. Під напором водяного струменя пил і породний дріб'язок відриваються від полотна дороги й несуться на її узбіччя.

Використається також і пасивний спосіб боротьби з пилінням автодоріг шляхом створення водяних завіс або змочування полотна дороги стаціонарними установками постійної або короткочасної дії.

Однак, незважаючи на простоту, цей спосіб має той недолік, що пил з дороги не прибирається, а навпаки, накопичується. До того ж мокрий пил на мокрому полотні автодороги, особливо із твердим покриттям, різко знижує коефіцієнт зчеплення коліс автомобіля з дорогою, що у свою чергу знижує безпеку руху транспорту. Тому, на практиці використовується комбінований спосіб, заснований на періодичному сухому очищенні автодороги від

рудного дріб'язку механічним способом і паралельним зрошенням її стаціонарними установками.

У цілому, очищення дороги із твердим покриттям дозволяють ефективно знижувати ступінь забрудненості до 87-95%. Однак експлуатаційні витрати на обслуговування доріг із твердим покриттям у кар'єрах настільки великі, що за прикладом США й Канади [8] від них відмовилися й перейшли до використання автодоріг з нежорстким покриттям.

Широкому використанню тимчасових технологічних автодоріг у Кривбасі сприяє наявність необмеженої кількості гірських порід, з яких виробляються щебені, що є вихідним матеріалом для їхнього будівництва.

Сухе очищення щебених і гравійних тимчасових автодоріг неприйнятні через обов'язкову присутність пилоподібних часток у щебені як елементу дорожнього одягу.

Автодороги такої конструкції вимагають постійного пилоподавлення, тому що інтенсивність виділення пилу при пересуванні автотранспорту по необробленій дорозі досягає 11000-12000 мг/с а забрудненість повітря пилом може перевищувати в ГДК 1,7 рази [8].

Одним з розповсюджених способів боротьби з пилом на щебених автодорогах кар'єрів Кривбаса є мокре зв'язування пилу безпосередньо в дорожньому одязі. Простота цього способу базується на легкості механізації процесу поливання дороги й наявності надлишку води в кар'єрах. Цей спосіб здійснюється шляхом поливу полотна автодороги водою із цистерн, обладнаних на вантажних автомобілях.

Кількість води, необхідна для ефективного придушення пилу на щебених дорозі, визначається температурою й вологістю повітря й коливається, від 0,5 до 3 л/м². Ефективність такого способу боротьби з пилом становить 87-95%, а термін дії коливається від 3-4 годин і до 20-40 хвилин у жаркий час доби, коли відбувається найбільше випаровування вологи [8].

Якщо прийняти за середню витрату 2 л/м² автодороги, то при її ширині 20 м одержимо 40 м³ води на 1 км при одному поливанні. При частоті поливання, у середньому, через кожні 2 години на світлий час доби необхідно дорогу обробити як мінімум 5 разів. Таким чином, середня добова витрата води становить при оптимальних умовах 200 м³, а місячний – 6000 м³ на один км дороги. Для поливання автодоріг, використовується технічна вода, ціна якої порівняно невелика, а відстань доставки становить 3-5 км.

Рясний і частий полив автодороги з метою продовження часу ефективного зв'язування пилу веде до вимивання й виносу пилоподібних часток з верхнього шару дорожнього полотна, що приводить до порушення зв'язків між кістяковими зернами щебенів, і в підсумку - до утворення тріщин, вибоїв, гребенів і т.д. Наслідком цього є зниження швидкості руху автомобілів.

Крім великої витрати води в жарку пору року, іншим недоліком розглянутого способу є його неприйнятність при мінусових температурах повітря.

Для підвищення ефективності й термінів дії протипилової обробки дороги водою в неї можуть вводити легкорозчинні солі натрію, хлористого кальцію й хлористого магнію різної концентрації [8]. Однак у водяні розчини хлоридів натрію й кальцію необхідно вводити інгібітори корозії, наприклад, фосфат кальцію й ін.

Характерною рисою використання розчинів солей полягає в тому, що поверхня дороги попередньо покривається додатковим шаром піску товщиною 0,03-0,05 м. Цей шар, рясно змочений розчином, служить як би прикриттям дорожнього одягу й не дозволяє певний час сипучому середовищу пересихати. Недолік цього способу полягає в тому, що піщана суміш не утворить кірки на поверхні дороги і після випаровування вологи в свою чергу буде служити джерелом виносу пилу.

В умовах, коли існує дефіцит води, використовується спосіб змішання кам'яного дріб'язку в шарі зношування полотна дороги з гігроскопічною сіллю.

У якості останньої - зневоднені солі KCl, NaCl або CaCl₂ [8].

Для цієї мети кам'яний дріб'язок збирають грейдером або легким бульдозером на одну сторону автодороги, посипають сіллю, перелопачують, а потім повторно розстеляють по полотну автодороги. Отримана суміш згодом просочується вологою, одержуваної з повітряного середовища за рахунок гігроскопічних властивостей солей. Під дією транспорту що постійно рухається, вологий кам'яний дріб'язок ущільнюється, у результаті чого утвориться міцна кірка на поверхні полотна автодороги, що не руйнується й не порошокить протягом 50-60 діб [8].

Аналогічний результат одержують при використанні в дорожнім покритті порошкоподібного матеріалу солончакового ґрунту із хлоридною засоленістю. Спосіб покриття полотна ґрунтової дороги в цьому випадку передбачає попередній полив дороги водою (0,5 л/м²) з наступним нанесенням шаруючи порошкоподібного ґрунту з витратою 3-5 кг/м². Тривалість знепилення поверхні дороги зберігається протягом 50 діб.

Позитивні результати отримані при використанні кристалічних солей хлоридів калію й кальцію в розсипах на ґрунтових дорогах. Змочена після розсипів сіль просочує ґрунт, що ущільнюється транспортом. При відсутності істотних опадів оброблена в такий спосіб дорога не порошокить протягом 5-6 місяців.

Істотним недоліком використання гігроскопічних солей у зневодненому виді й у розчинах є їхнє вимивання дощами.

Як у розчинах, так й у твердому стані ці солі можуть використатися для зв'язування пилу на автодорогах при температурі не вище 25-30 °C і відносної вологості повітря вище 40-50%.

Зниження вимивання солей з покриття автодороги досягається шляхом додавання в розчин вапняку, глини або солончакового ґрунту. Однак це

ускладнює та здорожує боротьбу з пилінням автодоріг, знижує безпеку руху автомобілів, тому є неприйнятною.

У практиці профілактичних заходів щодо боротьби з пилінням автодоріг широке поширення одержав спосіб зв'язування пилу органічними речовинами.

Для цих цілей найбільше поширення одержали продукти, які в промисловості є відходами целюлози (на їхній основі сульфітно-спиртова барда - ССБ) і капролактаму (лужний стік - ЛСВК). Проміжною стадією в способі обробки дороги є підготовка на основі зазначених продуктів водних емульсій різної композиції [8].

Також можна згадати такий відхід деревообробки як сире сульфатне мило (ССМ) – що використовувалось для закріплення пилячих поверхонь хвостосховищ [17]. Істотним недоліком зазначеного способу зв'язування дорожнього пилу є необхідність організації додаткового виробництва емульсій, що передбачає наявність устаткування, складських приміщень, під'їзних колій і т.д. Крім того, існують проблеми з постачанням складових емульсії.

Останнім часом у Російській Федерації знайшли широке застосування рідкі компаундні бітуми (універсини заводського приготування), які на щебеневому полотні автодоріг утворюють еластичні покриття, що не руйнуються під впливом коліс автомобілів.

Ефективність використання рідких бітумів для боротьби з пилом на автодорогах досить висока (85-94%), а тривалість знепилення становить 40-60 днів [8]. Ефективність способів закріплення автомобільних доріг представлена в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Ефективність закріплення автодоріг різними способами

Тип автодороги	Спосіб знепилення	Кліматичні умови	Час ефективної дії, діб	Ефективність, %
Із твердим покриттям	Сухе очищення грейдерами.	Тепла й холодна пора року		70,0-80,0
	Гідрознепилення			
	машинами;	Тепла пора року	до 1 години	86,7-97,5
	стаціонарними установками		постійно	86,7-97,5
щебеневі і гравійні	Закріплення зневодненими солями хлоридів			
	розсипом;	Тепла й холодна пора року	5-6	80,0-84,0
	у суміші з кам'яним дріб'язком;	Тепла пора року	30-40	80,0-84,0
	Гідрознепилювання			
	полив водою;	Тепла пора року	20-40 хв.	86,7-97,5
	водними розчинами солей хлоридів;		4-6	86,7-97,5
	водними емульсіями на основі ССБ із добавками органічних речовин;	Холодна й тепла пора року	60-90	82,0-91,1
	водними емульсіями на основі ЛСВК із додаванням органічних речовин;		60-90	83,0-92,5
	нафтопродуктами і компаундними системами (універсини,		10-40	90,0-98,0

	неогріни, северіни тощо)			
	Покриття дорожнього полотна зволоженою глиною	Тепла пора року	2	80,0-97,0
Ґрунтові	Зневодненими солями			
	розсипом;	Тепла пора року	3-4	80,0-84,0
	у суміші із ґрунтом;		6-7	80,0-89,0
	Гідрознепилення			
	розчинами солей хлоридів	Холодна й тепла пора року	6-10	85,0-93,5

З таблиці видно, що поставленим вимогам, найбільше повно відповідає спосіб закріплення шляхом утворення плівкових покриттів.

Однак дефіцит вихідних речовин для плівкоутворювальних покриттів поряд з їхньою високою вартістю є перешкодою для широкого застосування в кар'єрах Кривбасу. Також до недоліків можна віднести їх руйнування під постійною дією руху автотранспорту.

Постійний істотний ріст цін на засоби знепилення органічного походження спричиняє широке використання в Кривбасі гідрознепилення, незважаючи на те, що цей спосіб має серйозні недоліки, а ефективність носить короткочасний характер.

Машини і механізми, що можуть використовуватись для знепилення кар'єрних автодоріг

У процесі експлуатації автодоріг у кар'єрах, при їхньому поточному ремонті й боротьбі з пилінням використовується комплекс шляхово-транспортних машин, механізмів, а також баз для зберігання й приготування пилов'язуючих речовин.

Номенклатура техніки залежить від конструкції доріг, що обслуговуються, і умов їхньої експлуатації.

Для обслуговування автодоріг із твердим покриттям промисловість випускає автомобілі КРАЗ, ЗІЛ, БілАЗ з комплексним устаткуванням, що включає плуги для збирання просипів і щітки для підмітання пилу, пристрою для поливання доріг і механізми для розкидання сипучих матеріалів (рис. 2.10, 2.11). Це машини МКД-433362 і МКД-433362-01-03, характеристики яких представлені в табл. 2.5.

На ділянках автомобільних доріг із твердим покриттям, які перебувають поза зоною дії пилової хмари, що утвориться при підливних роботах, можуть бути використані стаціонарні зрошувальні системи. Вони складаються із труб, прокладених паралельно дорозі, з яких через вертикальні відводи вода розпорошується форсунками. Далекобійність форсунок визначається їхньою конструкцією і тиском води в трубопроводах.

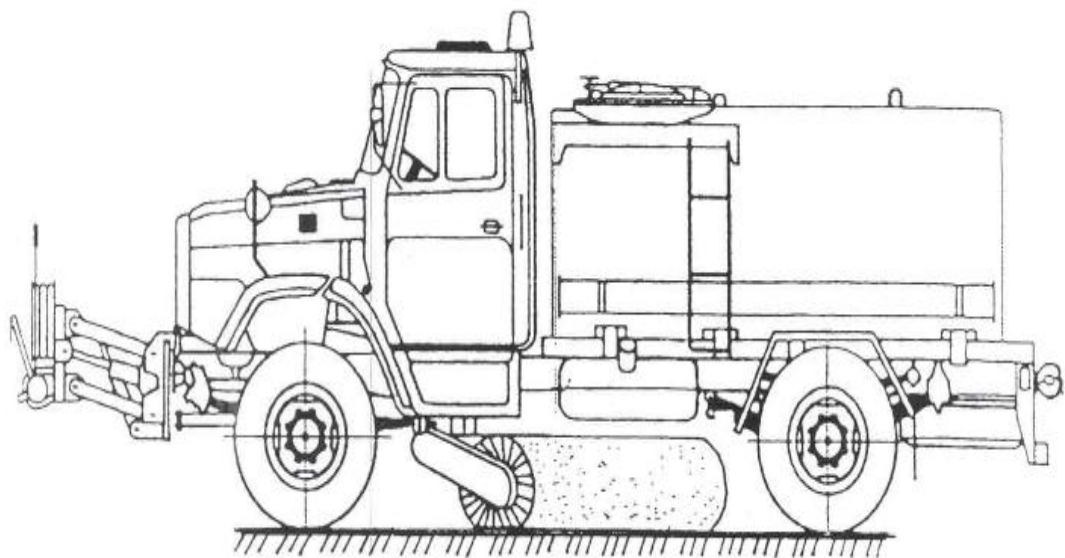


Рисунок 2.10 Машина дорожня комбінована (МКД – 433362)



Рисунок 2.11 Машина поливальна на базі автомобіля БіАЗ

Таблиця 2.5

**Технічні характеристики основних типів машин
для прибирання автодоріг**

Модель	Місткість цистерни, м ³	Ширина робочої зони, м			Швидкість пересування, км/год.	Витрати води, л/м ²
		При поливі	При мийці	При роботі щіткою		
АОП-35	35,0-40,0	15,0			До 20	1,0-3,0
ПМ-130	6,0	до 18,0	до 8,0		До 21	0,25-0,3
МКД-433362	6,5	20,0	8,5	2,75	20-40	0,2-0,3
МКД 433362-02	6,5	20,5	10,0	2,3	20-40	0,2-0,3
УМП-1	30,0	15,0			до 40	0,2-0,3

Витрата води (м³/година) визначається з формули [8]:

при безперервному зрошенні

$$V_v = q_y BL, \quad (2.1)$$

при періодичному зрошенні

$$V_{\text{в}} = q_y BL(t_{\text{ц}} + t_{\text{м}}) / t, \quad (2.2)$$

де q_y - питома витрата води на зрошення, м²/година;

L - довжина зрошуваної ділянки дороги, м;

B - ширина полотна дороги, м;

$t_{\text{ц}}$ - тривалість одного циклу зрошення, година;

$t_{\text{м}}$ - час між циклами зрошення, година.

Особливий підхід потрібний при знепиленні кар'єрних щебених доріг тимчасового типу, оскільки в їхню конструкцію завжди включають не тільки кам'яний дріб'язок, але й пилоподібні частки, необхідні для цементації кістякових зерен щебеневої суміші. Тому догляд за такими дорогами передбачає не тільки очищення від бруду, але й відновлення щебеневого покриття, для чого використовуються грейдери.

При використанні води для зв'язування пилу необхідне рясне змочування щебеневої суміші для того, щоб волога проникнула в нижні шари щебенів. Цим досягається основна мета: пилоподібні частки по всій глибині дорожнього одягу перебувають у змоченому стані, виконуючи при цьому роль сполучного середовища для кістякових зерен.

Для змочування щебених автодоріг у кар'єрах використовуються поливальні машини на базі автомобілів КРАЗ та ЗІЛ (ПМ – 130, МКД), які здійснюють розлив рідини через гребінку, установлену на передній рамі шасі. Такі машини забезпечують питому витрату води в межах 0,2-0,3 л/м³, що в ряді випадків не дозволяє здійснити просочення щебенів на необхідну глибину.

Тому в кар'єрах Кривбасу знайшли широке застосування поливальні машини типу АОП-35, виготовлені на базі автомобілів БілАЗ, що мають ємність для води до 35 м³, а для розливу - гідромонітор, гребінку спереду й труби позаду (рис. 2.12).

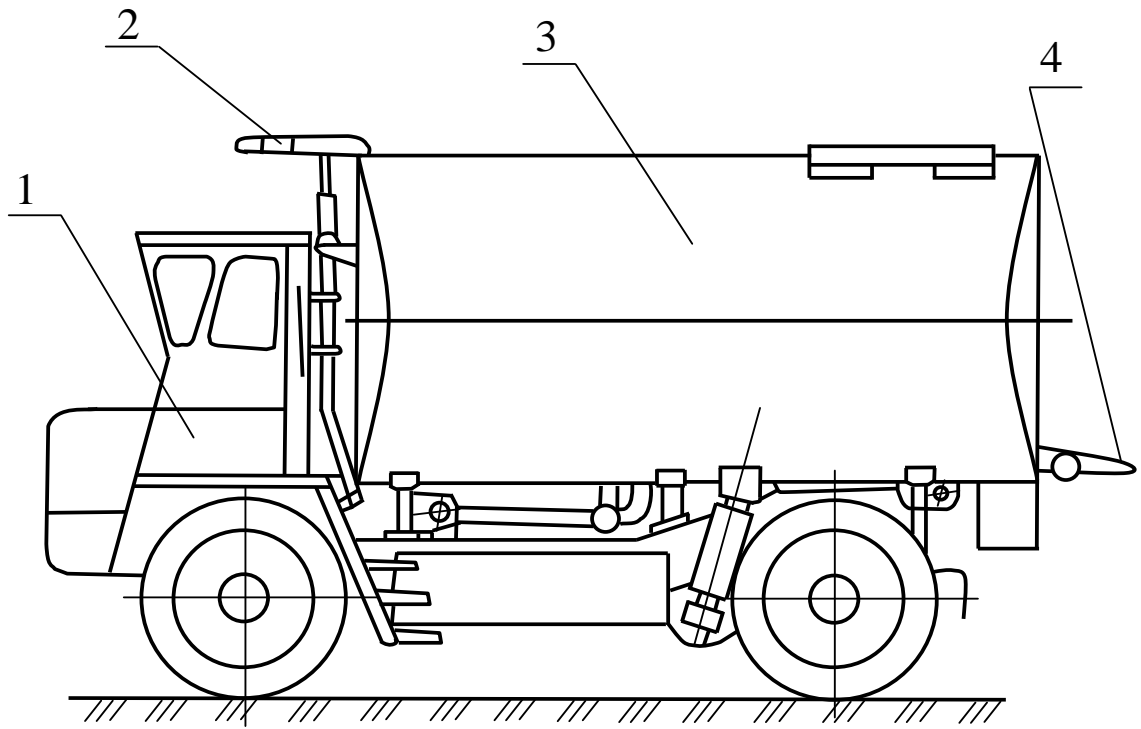


Рисунок 2.12 Автомобіль для зрошення і пилоподавлення в кар'єрах :

1 - шасі; 2 - монітор; 3 - цистерна; 4 – розпилювачі.

При обробці полотна щебеневої дороги водою її розлив з автомобіля АОП-35, як правило, здійснюється через дві труби, установлені з боків на задній частині ємності. Поперечний переріз труб перекривається конусними засувками, які дозволяють регулювати витрата води й розміри водяного смолоскипа над дорогою. Положення засувки фіксується тягами з кабіни водія.

Продуктивність поливальних машин ($\text{м}^3/\text{година}$) може бути визначена з формули [8]:

$$V_n = \frac{V_e}{K_{ож} \left(\frac{V_e}{V_n} + \frac{V_e}{V_3} + \frac{L_c}{V_x} + \frac{L_c}{V_r} \right)}, \quad (2.3)$$

де V_e - обсяг ємності для рідини, м^3 ;

$\kappa_{ОЖ}$ - коефіцієнт, що враховує втрати часу на перехрестях, заправній станції й т.д.;

V_n - подача насоса або витрати води при витіканні її із труби, м³/година;

V_3 - подача насоса заправної станції, м³/година;

V_x, V_r - середня швидкість руху автомобіля відповідно в неодруженому й вантажному напрямках, км/година;

L_c - середня відстань від заправної станції до ділянки поливання, км.

Необхідна кількість машин для поливання доріг:

$$N_n = \frac{k_p L B q n_c}{V_n}, \quad (2.4)$$

де $k_p = 1,25$ – коефіцієнт резерву машин;

L - довжина експлуатованих доріг, м;

B - ширина поливає дороги, що, м;

q_n - питома витрата води на одне поливання, м³/м²година;

n_c - частота поливів дороги в годину.

Остаточною операцією протипилової обробки дороги водою є ущільнення щебенів з метою видалення зайвої вологи формування більшої монолітності полотна дороги. Здійснюється вона проходом великовантажних автомобілів БіЛАЗ.

Характеристика експлуатаційних властивостей засобів знепилення автодоріг

На вибір засобів знепилення технологічних автомобільних доріг, має вплив ряд факторів, серед яких головними є: матеріал дорожнього покриття, кліматичні умови, безпека для людей, живої й неживої природи й економічна доцільність.

Найбільш поширені засоби для зв'язування дорожнього пилу підрозділяються на два типи - тверді й рідкі (табл.2.6).

Тверді речовини – це в основному збезводнені солі хлоридів (NaCl , KCl , CaCl_2), що мають здатність сорбувати на своїй поверхні вологу з повітряного середовища.

Ці солі використовують у розсипах на ґрунтових дорогах, коли вони під дією коліс транспорту вводяться в матеріал дороги і у холодний час доби усмоктують із повітря вологу. Змочений в такий спосіб пил на дорожнім полотні з'єднується у великі агрегати. На щебених і гравійних автодорогах солі використовують у сумішах з кам'яним дріб'язком, застосовуючи при цьому дорожню техніку.

Кристалічні речовини у вигляді зневоднених солей використовуються в районах, де спостерігається дефіцит води й випадають слабкі опади, що виключає вимивання солей з полотна дороги.

Істотним недоліком речовин у вигляді збезводнених солей є їхня агресивність до живої й неживої природи та до металів. Висока їхня розчинність приводить до вимивання з верхнього шару полотна автодороги, а при висиханні сіль збивається у великі агрегати, у результаті чого її функції істотно слабшають.

**Характеристики та експлуатаційні властивості засобів
знепилення автодоріг**

Назва закріплюючої речовини або композиції	Склад композиції, %	Оптималь на витрата, кг/м	Ефективніс ть, %	Тривалість зв'язування пилу, доба.	Недоліки
1. Вода		2. 0-3.0	86,7-97,0	30-40 хв.	Короткостроко ва дія
2. Сланцева олія		0. 8-2.0	82,0-88,0	30-50	Агресія до гуми
3. Нафтове паливо		0. 9-1.2	90,0-97,0	30-60	Те ж
4. Мазут 80		1. 5-2.0	90,0-97,0	20-30	Те ж
5. Мазут 100		1. 5-2.0	90,0-97,0	20-30	Те ж
6. Універсин А		1. 3-1.4	90,0-98,0	10-14	Те ж
7. Ніогрин		2. 5-3.0	82,3-93,3	3-4	Те ж
8. Северин А		1. 8-2.4	91,4-95,6	6-10	Те ж
9. Северин В		1. 8-2.4	90,0-97,0	10-20	Те ж
10. Бітум рідкий		3. 0-3.5	92,0-96,5	60	Те ж
11. Гудрон		2. 5-3.0	90,1-94,0	45-60	Те ж
12. Сульфонат лігніну	Солі Са, Na, кислот	0.4	86,0-93,6	30-35	Нестійкий до води
13. Зневоднені солі NaCl, KCl, CaCl ₂		0.6-0.7	77,0-89,1	10-15	Агресія до металів, вимивається дощами
		0.6-0.7	79,2-92,4	16-32	
14. Суміш солей	NaCl - 50 CaCl ₂ – 50	0. 6-0.7	80,0-92,6	16-20	Те ж
15. Водяний розчин солі, %	CaCl ₂ – 30 Вода - 70	2. 0-2.5	88,0-97,1	10-12	Те ж
16. Глинисті покриття щебенів	Глина-90 Вода-10		80,0-89,0	6-7	Труднощі керування авто

17. Емульсії; %:					
суміш бітуму й сульфітно-спиртової бражки;	Бітум-50-60 ССБ-1,75 Вода-38,25	1.2-1.5	84,0-90,1	30-40	Ароматичні виділення, агресія до гуми й вимивається, труднощі в підготовці
сульфітно-спиртова бражка і універсину;	ССБ-50 Універсин-10-30 Вода-20-40	2.0-2.5	87,0-92,8	5-20	
сульфітно-спиртова барда (ССБ);	ССБ-40 Вода-60	2.5-3.0	94,0-97,5	20-30	
пластифікатора формиатно - спиртового (ПФС);	ПФС-10-90 Вода-90-10	1.5-2.0	92,0-93,8	4-6	Те ж
лужний стік виробництва капролактаму (ЛСВК);	ЛСВК-10-50 вода 90-50	1.2-2.0	86,3-93,7	40-60	Те ж
суміш ЛСВК із бітумом;	ЛСВК-30 Бітум-5-15 Вода-50-65	1.0-1.2	93,0-95,5	40-60	Те ж
суміш ССБ, бітуму й цементу.	ССБ-32 Бітум-10 Цемент-2 Вода-56	3.0-5.0	96,0-97,0	60-90	Те ж
18. Суміш кам'яного дріб'язку із зневодненою сіллю CaCl_2		0.6-0.8	85,0-89,0	30-40	Агресія до металів, природі, вимивання дощами

З рідких засобів, використовуваних для зв'язування пилу, найбільше поширення одержали вода й водянні розчини гігроскопічних солей хлоридів, а

також водні емульсії з речовин органічного й неорганічного походження в різних композиціях [8].

Крім того, для обробки поверхні автодоріг можуть використовуватись нафта й продукти нафтопереробки в чистому виді.

Дослідженнями встановлено, що найбільший ефект гідрознепилення за рахунок прилипання до твердих поверхонь відбувається при використанні дистильованої води, що володіє нейтральним середовищем [8].

Ефективно зв'язується пил з водопровідною питною водою. Однак значні обсяги, необхідні для змочування сипучих матеріалів доріг, роблять економічно не вигідною її використання. У кар'єрах, де є значні водопитоки, для зрошення вибоїв і поливання автодоріг використають технічну воду, у якій кількість розчинених солей недостатня (5-8%), щоб після висихання утворити кристалічні містки між мінеральними частками й тим самим утримувати їх у зв'язаному стані.

Тому змочені технічною водою мінеральні частки мають на своїй поверхні солювату оболонку з розчинених речовин, що перешкоджає прилипанню часточок до більшої твердої поверхні і їхнього зближення. У результаті цього при висиханні дорожнього полотна мінеральні частки залишаються роз'єднаними. Це приводить до того, що агрегати, що складаються з пилу, швидко й легко руйнуються колесами автомобілів. Установлено, що гідрознепилення ефективно при відносній вологості повітря більше 65%.

Більше ефективними пилозв'язуючими засобами є водяні розчини гігроскопічних солей. При нанесенні на сипуче середовище водних розчинів, іони розчинених солей адсорбуються на поверхні мінеральних часток і насичують солювату оболонку. У результаті утворюються сольові містки, які здатні більш міцно удержати пил в агрегатах. Гігроскопічність солей дозволяє компенсувати вологу, що випарувалася з пилу, шляхом поглинання її з оточуючого середовища.

Серед досліджених водяних розчинів солей хлоридів калію, натрію й кальцію переважне поширення має хлорид кальцію, що найбільш ефективний у розчинах концентрації 30-50% [8]. Однак його дія обмежена температурою +30°C і вологістю не нижче 50%. Крім того, істотним недоліком розглянутих солей є їхня агресивність до металів і неживої природи. Ця обставина вимагає уведення в розсіпі або у водяні розчини дорогих інгібіторів корозії.

Що стосується солі хлориду магнію, то відзначається ефективність зв'язування нею дорожнього пилу.

На розрізах і кар'єрах знайшли застосування такі матеріали, як відходи целюлозно-паперової промисловості, що містять лігносульфати : сульфідно-целюлозний луг, сульфідно-дріжджова бражка і їхньої суміші із солями [8].

Після переробки сульфідного луку одержують сульфідно-спиртову бардові з високими в'язкими й поверхнево-активними властивостями. Вона виступає в ролі емульгатора при готуванні бітумної емульсії, що на дорозі утворить стійку плівку. Однак, незважаючи на тривалість її дії (4-6 днів), емульсія нестійка до опадів у вигляді дощу.

Водяні розчини ССБ скріплюють між собою дрібні частки дорожнього покриття, а заповнені речовиною пори між великими частками утворюють плівку, що перешкоджає швидкому руйнуванню дорожнього одягу в умовах сухого клімату.

Однак використання лігносульфонатів у чистому виді не дає задовільних результатів через пересихання поверхневої кірки, що руйнується під дією навантаження від автомобілів. Тому лігносульфонати використають у вигляді композицій з матеріалами, які самі по собі є продуктами відходів інших виробництв. Все це стримує їхнє застосування на гірничодобувних підприємствах, особливо тих, які знаходяться на великих відстанях від основних районів від лісозаготівель і лісопереробки.

У кар'єрах Кривбаса, певне поширення, в минулі роки, одержала розроблена в КТУ емульсія на основі бітумів, у складі якої емульгатором є лужний стік виробництва капролактаму (ЛСВК) [8] разом з водою. Всі три

компоненти (бітум нафтовий - 5-10%, ЛСВК - 30-35%, вода - до 100%) розігріваються до 90-100 °С і механічно перемішуються до одержання стійкої емульсії. Важливою перевагою отриманої емульсії є її здатність зменшувати поверхневе натяги рідини на щебені й тим самим якісно його змочувати. Оброблене такою емульсією полотно автодороги не порошокить протягом 40-60 діб, а ефективність придушення становить 93-95,5%.

Але до недоліків можна віднести високу вартість та необхідність наявності спеціальної матеріально-технічної бази та навченого персоналу.

У цей час відомі багато речовин, що тією чи іншою мірою відповідають даним вимогам. Найбільш ефективні технології зв'язування пилу засновані на використанні речовин органічного походження. Однак через високу вартість вихідних речовин, енергоємності технологій закріплення, вони стають економічно неприйнятними. До того ж багато речовин і матеріали просто дефіцитні, тому що виробляються за межами нашої держави.

Використання гігроскопічних солей у зневодненому виді малоефективне при розсипах по поверхні дороги, а при змішуванні з матеріалом дорожнього полотна різко підвищують енергоємність способу.

Найбільш перспективним є використання водяних розчинів солей хлористого калію, натрію, кальцію й магнію. По складу розчини можуть бути однорідними й змішаними, штучними й природними.

Аналіз використаних літературних джерел показує, що основними параметрами розчинів солей, що мають вплив на якість зв'язування пилу, є:

- температура кристалізації солей у розчині;
- мінімальні коефіцієнт поверхневого натягу і кут змочування розчину солей;
- мінімальна розчинність солей у воді;
- агресивність та екологічна небезпека для живої й неживої природи;
- пожежонебезпека;
- вартість продукту.

Основні хімічні, фізико-хімічні властивості і техніко-економічні показники солей, що входять у розчини, представлені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Основні хімічний-хімічні-фізико-хімічні властивості й експлуатаційні показники водяних розчинів солей хлоридів

Показники	Водяні розчини солей		
	NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂
Радіус катіонів, м · 10 ⁻¹⁰	Na ⁺ 0,98	Ca ²⁺ 1,06	Mg ²⁺ 0,78
Зміст хлоридів у солях, %	93-99,7	67-95	24-47
Розчинність у воді, кг/кг	0,357 при 10°C	0,745 при 20°C	0,536 при 20°C
Питома щільність, кг/м ³	2165	1680	1560
Температура кристалізації, °C		45,3	116,7
Коеф. поверхневого натягу, Н/м	При конц. 20% 77	При конц. 29% 81	
Агресивність	Агресивний до металів	Агресивний до металів	Агресія до алюмінієвих сплавів
Санітарна небезпека	Обмежено Небезпечний	Не небезпечний	Безпечний Використається в медицині
Пожежонебезпека	Пожежобезпечні		
Гігроскопічність	Солі і розчини гігроскопічні		

Слід зазначити, що реагенти на основі NaCl і KCl для закріплення пилячих поверхонь в рідкому виді практично не використовуються через їхню агресивність стосовно живої й неживої природи, а також до металів. У протилежному випадку виникає необхідність введення в розчини інгібіторів корозії, що ускладнює й здорожує їхнє застосування. Реагенти на основі солей Na і KCl використовують в основному для заходів спрямованих проти ожеледиці.

Суттєве значення для зв'язування дорожнього пилу при температурі зовнішнього повітря до плюс 30-40 °С, грає зв'язана в кристалах солей вода.

Так, хлорид кальцію $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ при температурі до плюс 30°C представляє собою кристалогідрат, а наявність води в кристалах солі сприяє підтримці дорожнього пилу у вологому стані.

Однак уже при досягненні температури плюс 30°C хлористий кальцій починає втрачати внутрішню вологу, спочатку дві молекули води, а при плюс 45,3°C - переходить у безводну форму, тобто кристалізується.

Такий механізм видалення води із солі призводить до того, що в умовах зазначених температур, супроводжуваних низькою вологістю повітря, хлористий кальцій сприяє пересиханню пилу у верхній частині дорожнього полотна і втрачає своє призначення його мокрого зв'язування.

На відміну від кристалогідратів хлористого кальцію, хлорид магнію $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ існує до температури плюс 111,7°C у вигляді розпливчатих, аморфних кристалів, що мають гігроскопічність вищу, ніж хлористий кальцій.

Із цього випливає, що збереження кристалогідрату хлористого магнію в розпливчастому стані при температурі вище 40°C, на відміну від хлористого кальцію, сприяє створенню більше стійких аморфних сольових містків, що зв'язують окремі порошини і їхні агрегати.

Важливою особливістю хлористого магнію є та обставина, що радіус його катіона на одну третину менше кальцію хлористого. Оскільки розчин бішофіта багатокомпонентний, те й кількості солей при осадженні їх на поверхню мінеральних часток буде потрібно менше, а їхня щільність буде більше. До того ж інші солі, температура кристалізації яких нижче, будуть одержувати додаткову вологу при висиханні.

До цього варто додати ще одну важливу властивість хлористого магнію, що має істотне значення при гідрознепиленні автомобільних доріг - гірша, у порівнянні із хлористим кальцієм, розчинність у воді (табл. 2.3). Це властивість позитивно впливає на його збереження у конструктивному шарі

зношування полотна автодороги, тому що при опадах у вигляді дощу він погано вимивається із щебеневої суміші.

Велике поширення одержав хлористий магній природного походження (бішофіт) – продукт розчинення прісною водою підземних шарів солей (в Україні в районі Полтави), що являє собою багатокомпонентний розчин щільністю 1,25-1,26 г/см³.

Оцінка основних показників розчину природного бішофіта, представлених в табл. 2.8, свідчить про те, що він у порівнянні з розчином інших хлоридів найбільше повно відповідає санітарним, екологічним, пожежним й експлуатаційним вимогам, необхідним для закріплювачів при гідрознемиленні автодоріг.

Таблиця 2.8

Фізико-хімічні властивості розчину РПБ

Назва показників	Норма	
	РПБ	
Зовнішній вигляд	Безбарвна, масляниста рідина без запаху	
Щільність при 20°C, мг/м ³	Не менш 1250 мг/м ³	
Загальна мінералізація, кг/м ³	Не менш 320	
Розчинність у воді	Гарна	
Агресивність	Неагресивний	
Токсичність	Нетоксичний	
Пожежонебезпека	Негорючий вибухобезпечний	
Вміст, %:	Іонів магнію, Mg ⁺²	Не менше 7
	Хлорист. магнію, MgCl ₂	Не менше 24
	Хлорист. натрію, NaCl	Не більше 5
	Сульфат іонів CO ₄ ⁻²	Не більше 1
	Хлорист. кальцію, CaCl ₂	Не більше 0,5
Температура замерзання, °C	- 35,5	
Клас небезпеки	Четвертий	

Результати промислових досліджень ефективності запропонованого засобу закріплення пилячих поверхонь

В 2004-2006 роках на ПАТ «ІнГЗК» та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» було проведено серію досліджень ефективності використання водного розчину природного бішофіту для закріплення пилячих поверхонь кар'єрних автодоріг [8].

Дослідження показали, що бішофіт є все погодним ефективним засобом боротьби з пилінням на кар'єрних автошляхах, при його використанні забрудненість повітря пилом знижується в 2,0-7,0 раз (табл. 2.9). оптимальні витрати було прийнято на рівні 2,0 л/м², що дозволяє підтримувати забрудненість повітря пилом в межах допустимих норм (2,0 мг/м³) протягом тривалого часу (14-15 діб). До основних переваг бішофіту також можна віднести простоту його використання і нанесення, можливість використання розчину протягом всього року, не агресивність до металів, негорючість, четвертий клас небезпеки тощо.

Таблиця 2.9

Результати промислових досліджень ефективності закріплення пилячої поверхні кар'єрних автодоріг на ПАТ «АМКР» та ПАТ «ІнГЗК»

Час після нанесення, діб	Забрудненість повітря над дорогою мг/м ³		V вітру м/с	Відносна вологість, %	t повітря °С	Підприємство
	Контроль на ділянка	Оброблена бішофітом ділянка				
2,0	4,5	0,57	2,0-2,5	75,0	19,0	ПАТ «АМКР»
4,0	3,4	0,75	1,0-1,5	65,0	19,0	ПАТ «АМКР»
5,0	-	0,84	1,0-1,5	65,0	19,0	ПАТ «АМКР»
6,0	-	0,96	1,5-2,0	65,0	18,0	ПАТ «АМКР»
7,0	5,6	1,11	2,5-5,0	70,0	18,0	ПАТ «АМКР»
9,0	4,5	1,25	2,0-2,5	70,0	18,0	ПАТ «АМКР»
10,0	4,5	1,43	1,5-2,0	65,0	18,0	ПАТ «АМКР»
15,0	4,8	1,95	2,0-2,5	70,0	17,0	ПАТ «АМКР»

5,0	5,2	1,20	2,5-3,0	80,0	22,0	ПАТ «ІнГЗК»
15,0	4,9	1,95	2,0-3,0	75,0	21,0	ПАТ «ІнГЗК»

Для бішофіту нема необхідності побудови спеціальних баз приготування чи зберігання розчинів, оскільки він доставляється в залізничних цистернах і використовується без додаткової підготовки. (рис. 2.13).

Після нанесення водного розчину природного бішофіту, закріплена поверхня залишається вологою, і на відміну від поверхонь оброблених закріплювачами що формують суцільну плівку (шкірку) краще переносить постійні механічні навантаження.

Вимивання дощами відбувається досить поступово, і основний вплив на закріплену поверхню мають колеса автотранспорту що перемішують і виносять закріплений шар пилу.

Для збільшення ефекту проникнення розчину в матеріал дороги, перед нанесенням бішофіту рекомендується обробити дорогу технічною водою з витратами 2,5 л/м².

Водний розчин природного бішофіту, маючи значні гігроскопічні властивості буде отримувати вологу не лише з опадів а і з повітря, що дозволяє підтримувати постійну високу вологу в закріпленому матеріалі. Вдень вологість дещо знижується, але протягом ночі-ранку вона знову відновлюється.

Для нанесення закріплювача використовувались гідромонітори на базі автомобілів БілАЗ (нанесення відбувалось за допомогою розбризкувачів що знаходились позаду автомобіля) рис. 2.14.



Рисунок 2.13 Заправка гідромонітора бішофітом



Рисунок 2.14 Нанесення бішофіту на закріплювану поверхню

При використанні водного розчину природного бішофіту в зимовий період, закріплена поверхня кар'єрних доріг залишалась вологою а сніг що потрапляв на неї танув (рис. 2.15).



Рисунок 2.15 Закріплена ділянка автодороги

Використання інших закріплювачів протягом зимового періоду або цілком неможливо (вода і розчини на її основі) або процес нанесення суттєво ускладнюється.

Використання водного розчину природного бішофіту в якості засобу для боротьби з ожеледицею на кар'єрних автодорогах не знайшло використання, хоча розчин і сприяє таненню льоду що покриває дорогу.

Більш доцільним є нанесення бішофіту перед настанням морозів що призводить як до зменшення виносу пилу так і до запобігання утворення на поверхні дороги ожеледиці.

Після нанесення бішофіту на кар'єрну дорогу, навіть візуально вона залишається вологою попри механічні навантаження і температуру повітря (рис. 2.16).



Рисунок 2.16 Стан дорожнього покриття після нанесення бішофіту

Все вищевикладене дозволяє стверджувати що саме розчин природного бішофіту є тою речовиною, використання якої дозволить вирішити проблему пилового навантаження на працівників кар'єрного господарства ГЗК Кривбасу та покращити умови їхньої праці і сприятиме зменшенню кількості професійних захворювань.

3. Вибір засобу та способу боротьби з пилом в умовах хвостосховищ, відвалів та автодоріг

3.1 Пошук та обґрунтування використання пилов'язуючих розчинів

Технологія фізико - хімічного закріплення ерозійно небезпечних поверхонь включає комплекс операцій, виконуваних в певній послідовності:

1. приготування закріплювача;
2. доставка закріплювача до місця нанесення;
3. 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 дешевші хімічні засоби. За низьких температур повітря (менше 0°C) необхідний такий закріплювач, який зберігає свої робочі характеристики в цих умовах.

Одна з основних умов отримання міцного протиерозійного покриття –рівномірний розподіл закріплювача на поверхні. Нанесення за допомогою форсунок (систем форсунок) дозволяє створювати найбільш рівномірний потік дрібних крапель рідини і забезпечують суцільне зрошення поверхні навіть при невеликих витратах і природному рельєфі ділянки.

Розглянувши всі вище запропоновані засоби і способи, було визначено їхні основні недоліки, що стають на заваді їх ефективному використанню в умовах діючих хвостосховищ, відвалів і автодоріг.

Тому перед нами постала необхідність вибору закріплювача, який можна буде використовувати в широкому діапазоні температур, матиме порівняно невисоку вартість, простоту використання та не буде мати негативного впливу на працівників і довкілля.

Проаналізувавши існуючі засоби боротьби з виносом пилу з сухих поверхонь діючих хвостосховищ, автодоріг і відвалів, нами було прийнято

рішення використати закріплювач на основі солей хлоридів (природного бішофіту).

Промислові дослідження ефективності цього засобу проводились в умовах ГЗК ПАТ «АМКР» та ПАТ «Північний ГЗК».

За умови рівномірного зрошування поверхні утворюється покриття здатне ефективно протистояти вітровій ерозії протягом трьох місяців і більше. Покриття утворене розчином хлоридів, на відміну від інших засобів, які створюють суцільну плівку, не руйнується під впливом механічного навантаження [17].

Нижче нами наведено технологію використання водного розчину природного бішофіту для зменшення виносу пилу з поверхонь хвостосховищ, автодоріг і відвалів, її основні переваги і недоліки.

Нами було використано результати проведених промислових досліджень ефективності закріплення пилячих поверхонь діючих хвостосховищ з метою визначення можливості використання для цього розчину природного бішофіту.

Нанесення водного розчину бішофіту відбувалося на максимально можливі відстані, з урахуванням напрямоку і швидкості вітру та інших місцевих умов [5-6].

Ділянками для проведення циклу досліджень ефективності використання водного розчину природного бішофіта в якості засобу закріплення пилячих поверхонь стали хвостосховища ПАТ «АМКР» та ПАТ «Північний ГЗК» (рис. 3.1 та 3.2).

На хвостосховищах ГЗК ПАТ «АМКР» закріплювалася як ділянка карти хвостосховища так і ділянка його дамби. Витрати природного бішофіту для обох ділянок, відповідно до результатів лабораторних досліджень, становили приблизно 2 л/м².

Дослідження проводились в теплу пору року, з використанням досвіду нанесення на поверхню хвостосховища аналогічних розчинів.

Нанесення розчину бішофіту, проводилось з використанням гідромонітору встановленого на базі автоцистерни БілАЗ з дамби без заїзду на поверхню карти хвостосховища. Це дозволило протягом короткого часу обробити значні площі поверхні хвостосховища, дамби і дороги. Нанесення розчину проводили на суху поверхню пляжу без попереднього зволоження.

Розчин бішофіту закупався у заводу-виробника в готовому вигляді і не потребував жодних підготовчих операцій.

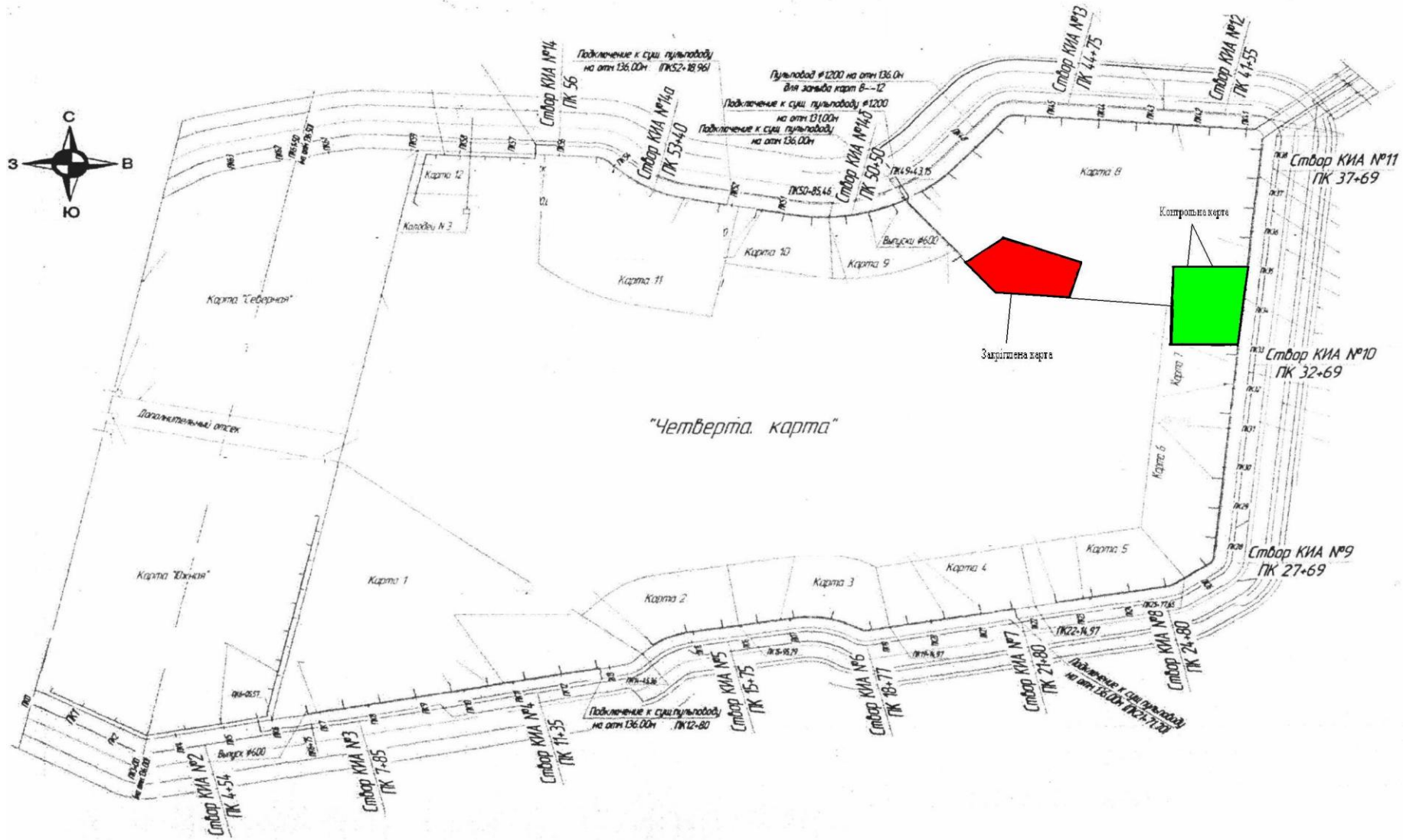


Рисунок 3.1 Хвостосхвище «Об’єднане» ПАТ «АМКР»

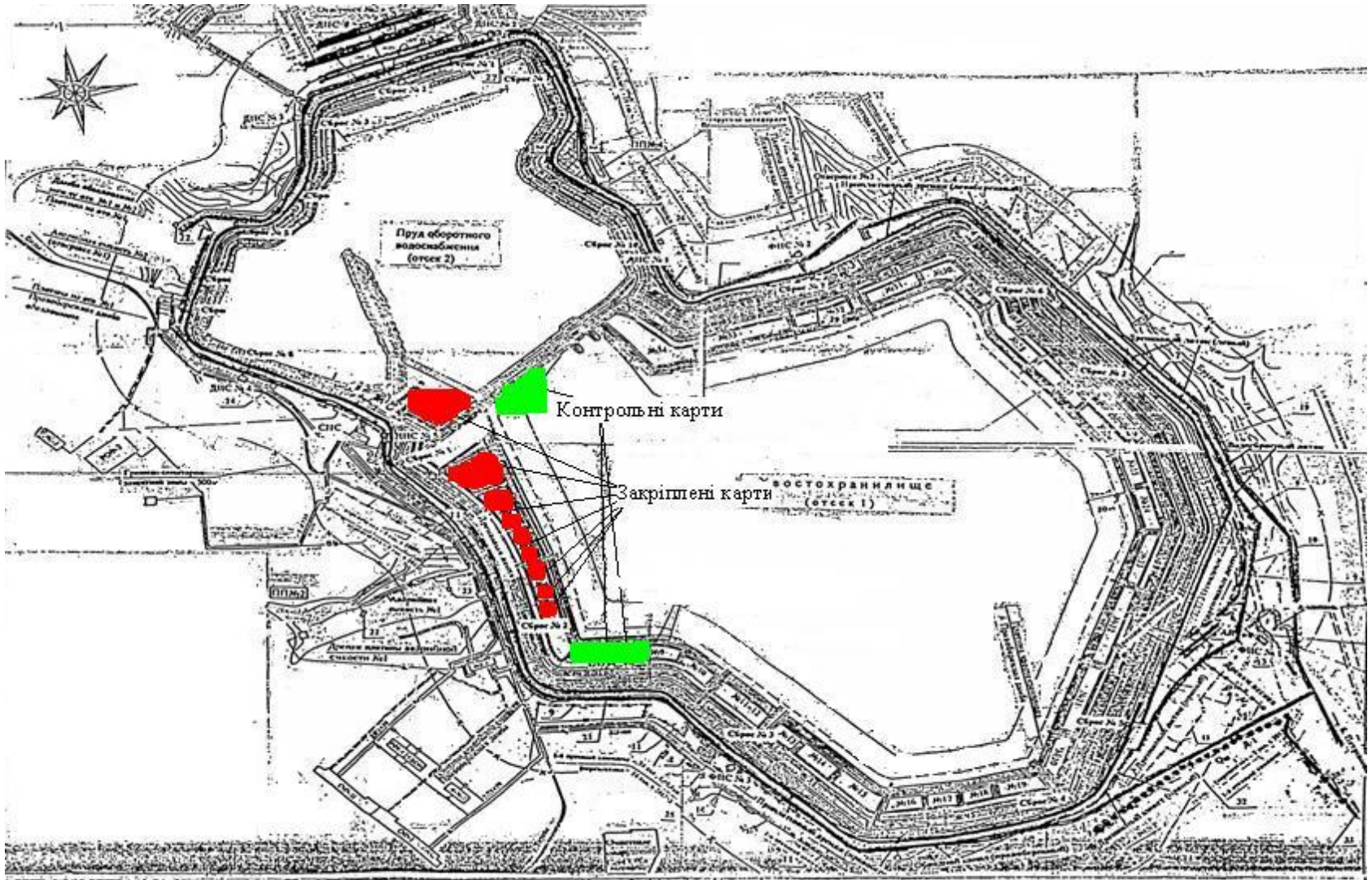


Рисунок 3.2 Хвостосховище ПАТ «Північний ГЗК»

Поверхня хвостосховищ, як вказано вище, закріплювалася за допомогою гідромонітора, а дамби - за допомогою поливальної машини БілАЗ-7648А. Нанесення бішофіту було проведено, в основному, у літній період з урахуванням напрямку вітру.

Площа хвостосховища, змочена розчином природного бішофіту, досягала 3500 м². Результати досліджень, проведені за період від початку закріплення та протягом декількох тижнів після нього, показали різке зменшення забрудненості повітря пилом у районі ділянки хвостосховища, де проводились експерименти, у порівнянні з пилоутворенням на контрольній ділянці (див. табл. 3.1) [17].

Таблиця 3.1

Результати промислових досліджень зміни концентрації пилу на ділянках хвостосховища ПАТ «АМКР» при закріпленні їх розчином природного бішофіту з витратою 1,5-2 л/м²

№	Дата вимірювання	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість вітру, м/с	Вологість хвостів, %		Забрудненість повітря, мг/м ³		Примітки
					Оброблена ділянка	Контрольна ділянка	Оброблена ділянка	Контрольна ділянка	
1	11.09.06	20,2	70	3,9-5,5	-	-	1,15	23,07	Без опадів
2	12.09.06	20,1	74	1,5-5,4	7,77	3,8	1,13	23,07	-П-
3	14.09.06	19,5	67	3,5-5,7	7,60	0,5	1,14	2,16	-П-
4	15.09.06	20,2	68	1-3,4	10,81	0,8	-	-	-П-
5	21.09.06	20	64	0,72-3,4	5,60	0,8	0,6	2,4	Дощ
6	25.09.06	23	50	5,4-6,7	-	-	2,7	3,7	Без опадів
7	26.09.06	23	54	3,7-4,7	-	-	0,7	2,4	-П-
8	27.09.06	20	-	3,7-4,7	-	-	2,17	5,8	-П-

9	12.10.06	8,2	-	-	2,76	0,27	0,43	0,58	-П-
---	----------	-----	---	---	------	------	------	------	-----

Також було проведено промислові дослідження з визначення ефективності закріплення поверхні хвостосховищ розчином природного бішофіту на хвостосховищі ПАТ «Північний ГЗК». На відміну від попередніх досліджень, спочатку роботи проводилися в зимовий період, а потім їх було продовжені навесні і влітку, що дало нам розуміння ефективності використання запропонованого засобу в різних умовах протягом усього року.

Витрата РПБ, за уточненими даними, коливалася і склала 0,7-1,0 л/м², питома густина РПБ дорівнювала $\rho=1250$ кг/м³.

Результати вимірювань забруднення повітря пилом і вологості хвостів протягом лютого - квітня наведені в табл. 3.2 [17].

З цієї таблиці видно, що вологість верхнього шару хвостів, оброблених розчином бішофіту, протягом 2-х місяців була значно вищою, ніж на контрольній, необробленій карті, що відповідає висновкам теоретичних і лабораторних досліджень, проведених нами раніше. Причому, у період сухої погоди вологість оброблених розчином бішофіту хвостів зростала до 10%, а необроблених знизилася до 0,9%.

Слід відзначити, що поверхня контрольної (необробленої) ділянки карти при мінусовій температурі повітря змерзала, втратила вологу і навіть при невеликій швидкості вітру з неї відбувалося винесення пилу, тоді як ділянка, оброблена розчином бішофіту, не змерзала, а залишилася вологою і не пилила.

Сніг, який випав на оброблену ділянку, швидко танув додатково звожуючі оброблену ділянку, на відміну від контрольних ділянок, на яких він продовжував лежати до потепління.

Забрудненість повітря пилом, що вимірювалась за напрямком вітру при виході з карти, на обробленій ділянці перебувала у межах 0,16–1,06 мг/м³, у той час, як на необробленій (контрольній) ділянці карти вона становила 2,6–125 мг/м³. У процесі досліджень було визначено, що при швидкості вітру > 5

м/с на поверхні незакріплених карт хвостосховищ починають формуватися так звані «пилові бурі», які виносять пил на більші відстані. У той же час на обробленій РПБ ділянці карти такі явища не спостерігаються.

Результати промислових досліджень ефективності закріплення поверхні хвостосховища ПАТ «ПівнГЗК»

№ карти	Дата вимірювання	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість вітру, м/с	Час після обробки карт, діб	Вологість хвостів		Забрудненість повітря, мг/м ³		Примітки
						Оброб. РПБ	Контр.	Оброб. РПБ	Контр.	
1	11.02.2008	-4,8	70	3,0-4,0	13	5,52	4,61	0,16	2,6	09-10.02-сніг
1	25.02.2008	-3,0	75	5,0-7,0	27	6,97	0,96	0,30	116,0	Без опадів
1	03.03.2008	7,0	68	5,7-6,0	3	10,0	0,90	1,06	125,0	-П-
9	14.03.2008	14,2	82	6,0-7,0	11	-	-	0,8	26,0	-П-
10	17.03.2008	12,2	86	4,0-6,0	14	-	-	0,3	15,5	16.04.- дощ
14	21.04.2008	12,0	70	3,8-4,0	15	-	-	0,43	2,3	Без опадів
15	24.04.2008	8	84	5,4-6,0	16	11,3	1,6	1,13	6,0	24. 04
9	20.05.2008	25	63	4,4-4,8	44	9,01	1,3	1	4,6	25.04-18.05 Періодичні дощі
10	20.05.2008	25	63	4,4-4,8	43	6,53	1,3	0	4,6	
12	20.05.2008	25	63	3,8-4,0	38	5,36	1,3	0,27	4,6	
13	20.05.2008	25	63	4,0	29	4	1,3	0,27	4,6	
14	20.05.2008	25	63	4,0	37	4,1	1,3	1,2	4,6	
15	20.05.2008	25	63	3,5-4,0	26	3,24	1,3	0,4	4,6	
16	25.06.2008	26	60	2,5-3,0	75	8,8	0,15	0,26	4,5	Сухо
9	25.06.2008	26	60	2,5	74	6,0	0,15	0,44	4,5	
10	25.06.2008	26	60	3,0-4,0	74	7,0	1,0	1,5	4,5	

Завдяки порівняно низькій температурі замерзання (-35°C) та високій гігроскопічності, розчин природного бішофіту надійно зволожує і зв'язує поверхню хвостосховищ навіть у суху морозну погоду протягом 1,5-2,0 місяців при витраті РПБ на рівнях понад $1,0 \text{ л/м}^2$.

У весняно-літній період вченими було вирішено обробити РПБ в першу чергу найближчі до житлових районів, громадських місць і промислових площадок карти під номерами: №9, №10, №11, №12, №13, №14 і 15 з метою покращення екологічного стану прилеглих житлових масивів.

Щодня, починаючи з 2-го і до 20-го квітня, далі у травні і червні 2008 р, проводилося нанесення РПБ на поверхню хвостосховища. Щоденна площа ділянок, які закріплювалися, коливалася в межах 10-15 га. Для визначення й одержання оптимальних техніко-економічних і екологічних параметрів витрати РПБ було прийнято рівними $1-2,5 \text{ л/м}^2$. Одночасно змочували РПБ поверхні автодоріг, хвостосховища й укуси дамб.

Проведені на ділянках хвостосховища ПАТ «Північний ГЗК» промислові дослідження також підтвердили пріоритетний вплив високої вологості хвостів і швидкості вітру на ступінь забруднення повітря пилом при виході із хвостосховища. Крім того, було встановлено, що на забрудненість повітря над досліджуваною картою впливає пил, який здувається з сусідніх незакріплених ділянок.

При роботі гідромонітора краплі падають на поверхню хвостосховища, як мінімум, з висоти 2,5-3,0 м, що забезпечує рівномірне та якісне зволоження матеріалу хвостів і огорожуючих дамб.

Дослідження показали, що вологість необроблених РПБ хвостів невисока і при плюсових температурах не перевищує 3,6% навіть після рясного дощу. Через добу (при відносній вологості повітря не менше 70%) вона знижується до 1%. У той же час вологість оброблених РПБ хвостів перевищує 11% під час дощової погоди і після неї. При зниженні відносної вологості повітря волога з хвостів поступово випаровується й знову підвищується при сирій погоді.

Ступінь забруднення повітря пилом на виході з карт хвостосховищ, оброблених РПБ, перебував у межах 0-1,5 мг/м³, навіть при швидкості вітру понад 6,0 м/с, у той же час на необроблених РПБ картах вона досягала 125 мг/м³ (табл. 3.2).

У період дощів поверхня всіх карт хвостосховища була зволожена водою і вимірювання рівня пилового забруднення повітря не проводилися. Були побоювання, що рясні опади виміють або розчинять РПБ з верхнього шару хвостів. Однак, у перші сонячні дні, 20.05.2008 спостереження показали, що на багатьох висохлих ділянках раніше оброблених РПБ карт, виступила сіль, а в деяких місцях навіть утворилася соляна кірка (рис. 3.3. та 3.4.), яка перешкоджає здуванню пилу, а при підвищеній вологості повітря або опадах розчиняється.

Аналіз вологості верхнього шару хвостів показав, що вона в оброблених РПБ картах значно (2-7 разів) вища, ніж на контрольній карті.

Таким чином, нами було визначено, що, незважаючи на періодичні рясні дощі, РПБ, нанесений на поверхню хвостів, навіть через 26-43 доби продовжує підтримувати високу вологість верхнього шару хвостів, зв'язуючи тонкодисперсний пил і утримуючи його на поверхні хвостосховища.

Про це свідчать результати вимірювань ступеня забрудненості повітря пилом на виході з карт і вологості хвостів, а також поява солі на ділянках карт, що підсихають (рис. 3.1 та 3.2).



**Рисунок 3.3 Загальний вигляд хвостосховища,
закріпленого бішофітом**



**Рисунок 3.4 Поверхня хвостосховища, закріпленого бішофітом:
світлі ділянки - сіль, що виступила**

В суху, жарку погоду ефективність закріплення досягала 75 діб (табл. 3.2). При цьому подальші спостереження за станом закріпленої поверхні хвостосховища стало неможливим у зв'язку з zalиванням закріплених карт черговою порцією пульпи.

Отже розглянувши цей досвід, можна стверджувати, що використання водного розчину природного бішофіту для обробки сухих поверхонь діючих хвостосховищ (в тому числі дамб і автодоріг) дозволить вирішити важливу еколого-гігієнічну проблему забруднення атмосферного повітря мінеральним пилом. Практичні рекомендації проведення закріплення ділянок хвостосховища, розглянуто нами в наступному розділі.

3.2 Визначення найбільш перспективного засобу і способу боротьби з пилом діючих відвалів

При закріпленні діючих відвалів пустих порід, доцільно буде використовувати ті самі способи і засоби вирішення питання виносу пилу до атмосферного повітря вітровим потоком, що і на діючих хвостосховищах.

Особливістю закріплення поверхні відвалів є неможливість формування на їхній поверхні суцільної шкірки з закріплювача та певні проблеми в нанесенні закріплювача через порівняно велику висоту даного об'єкту та можливі наявні складнощі з під'їздом до нього.

Питанням закріплення відвалів, свого часу займалися багато вчених, з останніх робіт можна розглянути дисертаційну роботу Салія І.В.[27].

У своїй роботі, автор визначає основні переваги і недоліки різних засобів і способів закріплення пилячих поверхонь діючих відвалів і хвостосховищ, їх основні переваги і недоліки.

Основним методом боротьби з пилом, було визначено – фізико-хімічний метод закріплення поверхонь пилоутворення.

Фізико-хімічний метод, включає гідрознепилювання і стабілізацію поверхні відвалів в'язучими речовинами. Вода може використовуватися у випадках локального пилопригнічення. За її допомогою знижується пиловиділення в атмосферу на 50-60 %. Розрахунки показують, що при використанні води для боротьби з пилом на площах відкритого типу (відвали) її витрати і експлуатаційні затрати дуже високі, і не дозволяють надійно вирішити проблему виносу пилу до атмосферного повітря. Воду, як ми вже встановили, не можна використовувати при низьких температурах, та недоцільно використовувати при високих температурах і низькій вологості повітря.

Більш перспективним в переробній промисловості є фізико-хімічний спосіб боротьби з пилом, суть якого полягає в закріпленні пилової поверхні за допомогою в'язучих або структуроутворюючих речовин [17]: неорганічних, органічних, природних, синтетичних полімерів і комбінованих в'язучих. При нанесенні закріплюючих речовин на поверхні утворюється тонкий шар обробленої поверхні.

Неорганічні в'язучі речовини для стабілізації поверхні відвалів характеризуються малою водоерозійною стійкістю і малою механічною міцністю закріпленої поверхні.

Органічні закріплювачі для боротьби з пилом досліджувалися більш широко. Це емульсії на основі нафтопродуктів, продуктів переробки горючих сланців, нафта, відходи целюлозно-паперової, деревообробної промисловості тощо. Суть закріплення цими речовинами полягає в утворенні на поверхні водо-, вітростійкої корки з пружно-пластично-в'язкими властивостями. Але як відмічалось вище, це мало придатно для складних рельєфів відвалів пустих порід.

При застосуванні бітуму утворюється міцна плівка, яка захищає поверхню від вивітрювання. Для запобігання пилових викидів із хвостосховища «Залізний міст» комбінату KGHM Polska Miedz S.A. поверхні та схили покривають бітумними смолами. Вважається, що бітум утворює міцну плівку, яка захищає поверхню та схил від вивітрювання. Проте за результатами спостережень встановлено, що бітумне покриття наносить додатковий шкідливий вплив на навколишнє середовище. Але бітумна плівка добре руйнується. Матеріал з відвалів разом з елементами бітуму розповсюджується в радіусі кількох кілометрів, що свідчить про недостатню міцність і надійність покриття. Крім цього, бітум має великий вміст сірки (до 3,5 %), що забруднює середовище. Також станом на сьогодні, бітум не виробляється в Україні, і даний засіб не може бути нами рекомендований.

Розглянувши можливість використання закріплювача «Універсин» (у вигляді чорної маслянистої рідини), встановили, що «Універсин» є екологічно шкідливим матеріалом.

Хімічний аналіз показав, що при його застосуванні ґрунтові води були забруднені важкими і легкими ароматичними вуглеводнями з конденсованими й ізольованими ядрами. Найбільш яскраво виражену мутагенну і канцерогенну дію мають дибензантрацент і бензапірен, а також полімерасфальтени, вміст яких в «Універсині» знаходиться в межах 4,4%, що робить його зовсім неприйнятним реагентом з екологічної точки зору, оскільки при високих концентраціях він впливає на людину й вражає центральну нервову систему. При низьких

концентраціях він є токсичним для кровотворної системи, викликаючи ряд гематологічних змін і лейкемію.

Також екологічна небезпека «Універсину» полягає в тому, що він, маючи IV клас небезпеки, може розкладатися на компоненти I класу небезпеки, які можуть не тільки згубно впливати на здоров'я населення, але також легко проникати в ґрунт і далі попадати в підземні води [17].

Було розглянуто пропозицію Е.Н. Браунер, яка запропонувала для тимчасового закріплення поверхонь, що порожать та перебувають в експлуатації об'єктів гірничодобувних підприємств, спосіб з використанням багатокомпонентних розчинів електролітів з добавками поліелектроліту. Для довгострокового закріплення поверхонь, що порожать, з метою запобігання розносу небезпечного пилу на більші площі, вона розглянула можливість застосування полімермінеральних сумішей з використанням порошкових полімерів полівінілбутирала. Однак, цей спосіб має ряд недоліків – мала товщина покриття, погане змочування, труднощі рівномірного нанесення шару, крихкість покриття.

Було проведено визначення міцності закріплення масивів з використанням різних способів і засобів, але також їхні переваги і недоліки (табл. 3.3)[27].

Таблиця 3.3

Міцність закріплення масивів

Технологія закріплення масиву	Міцність, МПа		
	Мінімум	максимум	середня
Глинзація	0,05	2,2	1,1
Цементзація	0,22	6,6	1,7
Силікатизація	0,1	10,0	3,2
Бітумізація	0,1	2,0	1,2
Комбінований з добавкою ПВА	–	3,3	1,4
Закріплення травами	поява плівки		
Карбонатизація	0,3	1,5	0,8
Хімічне закріплення	0,3	0,46	0,67

Полімери займають особливе місце серед нових структуроутворюючих речовин. Хімічний та мінеральний склад техногенних масивів сприятливий для

закріплення їх полімерами (наприклад, акриловий полімер).

Вміст у них в достатній кількості 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. При цьому на поверхні може утворюватися шар високої міцності, що має одночасно достатню пружність і пластичність. При закріпленні полімерами велику роль відіграє вологість ґрунтів, оптимальною є вологість 5%.

Витрата матеріалу - 3 л 0,03%-ного розчину на 1 м² площі. Застосування полімерів самостійно або з іншими методами не знайшло широкого вжитку через дорожнечу, дефіцитність, а також відсутність даних про вплив на рослинний і тваринний світ і про токсичність стосовно людини. Метод, є ефективний, але не досконально досліджений.

Інтенсивним напрямком, що розвивається, є закріплення об'єктів, що порошок, латексу. Здатність латексів зв'язувати сипучий матеріал полягає в тому, що при взаємодії між функціональними групами й пиловими частками виникають водневі зв'язки, за рахунок яких пилові частки зв'язуються в укрупнені агрегати. Водневі зв'язки усередині зв'язаних часток надають їм стійкість до вітрової й водної ерозії. Витрата латексів для обробки поверхонь становить 1 л/м³, при концентрації 4 %. Рівномірно нанесений на пилячу поверхню латекс через 10-15 діб утворює щільний шар, що має еластичність й механічну міцність 1,2-1,4 МПа.

Однак, практичне застосування латексу для закріплення поверхонь, що порошок, показало, що він не стабільний при різкому перепаді температур, а при температурі нижче +7⁰С згортається й втрачає свої властивості. Для розведення латексу придатна вода, твердість якої не перевищує 5 мг/екв. При використанні води більшої твердості відбувається коагуляція (згортання) латексу. Внаслідок цих недоліків спостерігаються випадки виходу з ладу поливального устаткування, що знижує технологічність і надійність проведення робіт. Тому використання латексів в сучасних умовах в нашому регіоні не може бути рекомендовано як постійний засіб закріплення поверхонь з яких відбувається інтенсивне винесення

пилу до атмосферного повітря.

Було також розглянуто спосіб використання для закріплення поверхонь, що пилять технології твердіючих мінеральних в'язких сумішей (дисперсій) (ТМД). Такі суміші здатні твердіти за рахунок фізико-хімічної взаємодії між собою з утворенням нових конденсованих фаз.

Характерною властивістю ТДМ, утвореного на поверхні, є задовільна проникність для води при одночасному збереженні міцності після зволоження або висихання. Але, незважаючи на те, що цей метод дозволяє знизити пиління на 90% і провести посів багаторічних трав, він є економічно не вигідним і екологічно небезпечним, так як до складу твердіючих мінеральних дисперсій входить 15-ти відсоткова сірчана кислота.

У табл. 3.4 представлено систематизовану класифікацію технологій обробки поверхонь хвостосховищ і відвалів.

Таблиця 3.4

Класифікація способів закріплення хвостосховищ

Варіант	Переваги	Недоліки
Глинзація	Малі витрати, наявність матеріалів	Мала міцність покриття
Цементация	Висока міцність покриття	Високі витрати
Силікатизация	Висока міцність покриття	Складність процесу
Карбонатизация	Простота, надійність, утилізація карбонатів з покриття	Складність зняття з покриття консервації
Біозакріплення	Простота і доступність	Не можливе на діючих об'єктах
Кольматація без вилучення металів	Простота, надійність, утилізація відходів	Забруднення металами і солями

Як видно з табл. 3.4 – всі розглянуті автором способи мають значні недоліки, що обмежує їх ефективне використання для боротьби з виносом пилу з поверхонь відвалів в сучасних умовах.

Для боротьби з вітровою ерозією ґрунтів автором було розглянуто можливість використання поліакріламиду (ПАА) [27]. Характеристики покриття, що утворюється з поліакріламиду на поверхні наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Порівняльна характеристика розчинів ПАА для пилопригнічення ґрунтів

Властивості закріпленої поверхні	латекс	лігнін	Полімер
Міцність кірки	0,28	0,48	1,0
Волого утримання	0,45	0,70	0,10
Водостійкість покриття	0,90	0,65	0,52
Екологічна безпека	1,0	0,80	0,88
Ефективність зниження запилення			
I	0,50	0,70	1,0
II	0,80	0,60	0,30
Температура повітря і вологість ґрунту, %	+15...+20	-	+5
Концентрація розчину, %	4	0,3	0,03
Питомі витрати, л/м ²	1	7	3

Але неможливість використання засобу при низьких температурах повітря та необхідність нанесення на порівняно зволожені ділянки, робить його використання недоцільним в наших умовах.

В таблиці 3.6. наведені порівняльні характеристики деяких матеріалів, що свого часу розглядалися і пропонувалися для пилопригнічення на підприємствах гірничо-металургійного комплексу.

Перша група речовин взаємодіє з гідрофільними ділянками на поверхні дисперсних частинок і склеює їх. Друга група речовин викликає той же самий ефект, але лише для гідрофобних ділянок. Проте, водорозчинні полімерні зв'язуючі легко вимиваються з закріплених шарів, що призводить до втрати закріплюючого ефекту навіть при незначних природних опадах.

Таблиця 3.6

Порівняльні характеристики деяких способів зв'язування сипучих матеріалів

Варіант	Перевага	Недоліки
латекс	Практично не викликає вторинного	Необхідно періодично повторно закріплювати, вода розчиняє латекс і він частково втрачає свої властивості
лігнін	Покриття має необхідну міцність	Забруднює мінеральну сировину, що міститься у хвостах
полімер	Зв'язаний сипучий матеріал стійкий до вітрової ерозії та механічних впливів	Забруднює матеріал техногенних масивів речовинами, негативно впливає на навколишнє середовище і ускладнює переробку відвалів

Гідрофобні зв'язуючі не можуть бути рівномірно розподілені в об'ємі матеріалу і тому, як правило, створюють лише водонепроникну плівку, що тримається на поверхні недовго.

Виходячи з вищенаведених даних, можна стверджувати, що і ці засоби не можуть рекомендуватися для обробки поверхонь відвалів пустих порід.

При виборі зв'язуючих речовин для запобігання пиління необхідно оцінювати вплив таких характеристик реагентів: оцінити пилозв'язуючі, колоїдно-хімічні і технологічні характеристики дії речовин, що визначають пилоутворення (змочування, міцність закріпленої поверхні, дисперсність пилу, вмісту води та водостійкість покриття); екологічно оцінити речовини за їх впливом на біологічні об'єкти (токсичність), неживу природу та техніку (агресивність), біологічне розкладання; оцінити економічні показники – вартість матеріалів та енергетичних технологій їх використання.

Тому розглянувши всі рекомендації наших шановних попередників, ми можемо констатувати відсутність способу і засобу закріплення поверхонь пилоутворення на діючих відвалах пустих порід.

Ми вважаємо, що так само як і поверхні хвостосховищ і автодоріг, поверхні відвалів пустих порід можуть бути оброблені водним розчином природного бішофіту. З використання тієї самої техніки.

4. Рекомендації щодо боротьби з виносом пилу з поверхонь діючих хвостосховищ, автодоріг і відвалів

Проаналізувавши в попередніх розділах всі переваги і недоліки різних способів і засобів боротьби з виносом пилу з поверхонь діючих хвостосховищ, відвалів та автомобільних доріг, нами було встановлено, що оптимальним засобом обробки цих поверхонь буде водний розчин хлориду магнію (природного бішофіту).

А оптимальним способом буде його нанесення за допомогою засобів механізації (поливальні машини, гідромонітори тощо).

При проведенні промислових досліджень ефективності зменшення кількості забрудненості атмосферного повітря мінеральним пилом з поверхні хвостосховищ і відвалів, доцільно буде звернутися до існуючого досвіду [8, 17].

Розроблена фахівцями КНУ технологічна інструкція закріплення пилячих поверхонь хвостосховища ПАТ Північний ГЗК водним розчином природного бішофіту, дозволяє окреслити основні етапи проведення промислових досліджень [17].

1. Постачання розчину доцільно проводити залізничним транспортом, а оскільки він прибуває в готовому вигляді і не потребує бази для приготування, його можна зберігати прямо в цистернах, заправляти поливальні машини одразу з цистерн і за необхідності організувати гнучку логістику запропонованого засобу (рис 4.1.).

2. Нанесення розчину має відбуватися з дамби хвостосховища (рис. 4.2) без заїзду на його поверхню [17, 26].

Нанесення розчину на поверхню відвалів і автодоріг (рис. 4.3 - 4.5) виконується з використанням тих самих гідромоніторів.

Поливальна машина з гідромонітором має рухатися з урахуванням напрямку вітру для якісного нанесення розчину на суху поверхню (рис. 4.6).

Нанесення розчину за допомогою пожежних рукавів (4.7) – недоцільно, оскільки вимагає залучення значної кількості працівників, досить повільна та потребує використання спеціальних насадків.

Досвід російських колег (рис. 4.8) з використання для нанесення на поверхні хвостосховищ літаків малої авіації недоцільний з багатьох причин, в першу чергу – економічних.



Рисунок 4.1 Заправка гідромонітора розчином бішофіта

Схема закріплення хвостосховищ

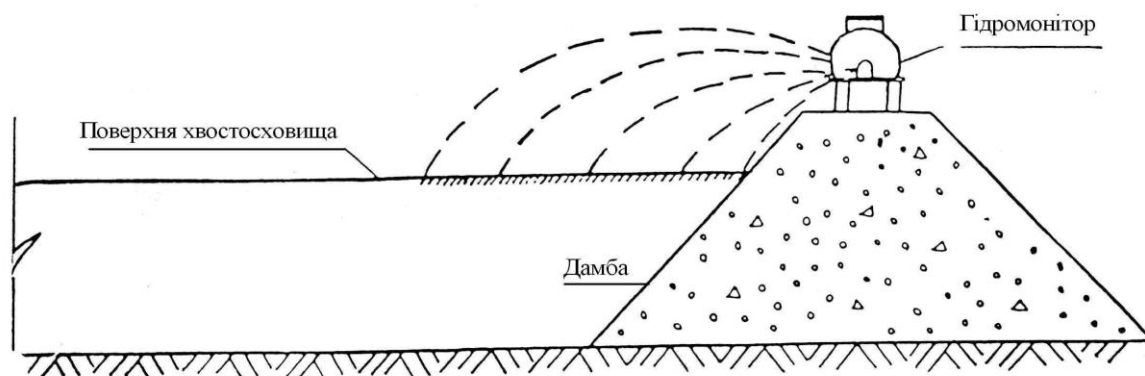


Рисунок 4.2 Схема нанесення розчину
на поверхню хвостосховища

Схема закріплення відвалу

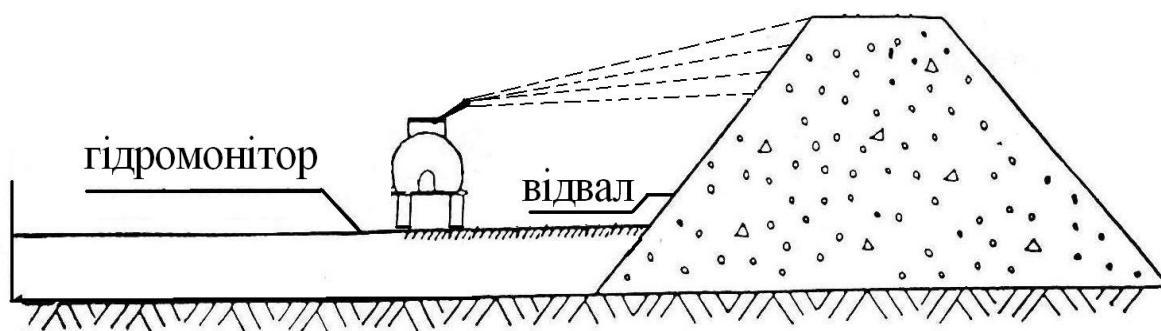


Рисунок 4.3 Схема нанесення розчину
на поверхню відвалу

Схема закріплення доріг та укосів

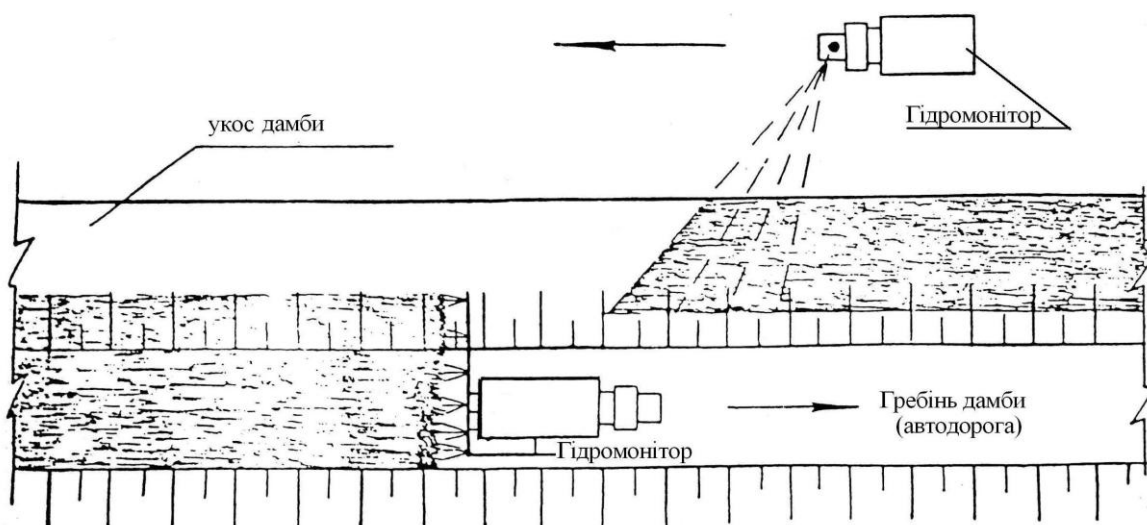


Рисунок 4.4 Закріплення автодоріг і укосів дамб



Рисунок 4.5 Нанесення бішофіту на поверхню автодороги



**Рисунок 4.6 Нанесення розчину
на поверхню хвостосховища**



**Рисунок 4.7. Нанесення розчину
на поверхню хвостосховища за допомогою пожежних рукавів**



Рисунок 4.8 Нанесення розчину

на поверхню хвостосховища за допомогою авіації

Основні рекомендації щодо обробки усіх типів пилячих поверхонь:

- Витрати при нанесенні водного розчину природного бішофіту передбачаються на рівні 1,5-2,0 л/м² поверхні відвалу чи хвостосховища та 2,0-2,5 л/м² автодороги при густині розчину не нижче 1250 кг/м³.
- Для закріплення поверхонь хвостосховищ і відвалів використовувати гідромонітор встановлений на поливальній машині. Заїзд техніки чи заход людей на поверхню хвостосховища забороняється.
- Нанесення розчину на поверхню автодороги – за допомогою спеціальних розбризкувачів або «гребнів».
- Виконання усіх робіт лише з використанням спец одягу, окулярів і респіраторів.
- В разі потрапляння розчину на шкіру чи слизові оболонки – змити великою кількістю чистої води.
- Спостереження за станом обробленої поверхні та контрольної ділянки – протягом не менш як 75 діб з моменту нанесення розчину.

ВИСНОВКИ :

1. На даний момент переважна більшість із розглянутих методів боротьби з винесенням пилу з поверхонь діючих хвостосховищ, відвалів та автодоріг шляхом закріплення поверхонь зв'язувальними розчинами не знайшов промислового використання у Кривбасі. Так склалося внаслідок цілого комплексу причин, серед основних – висока вартість запропонованих матеріалів, незадовільні показники міцності покриття, складність у використанні, проблеми з постачанням сировини тощо.

2. З метою запобігання шкідливому впливу пилу на працівників підприємств, мешканців прилеглих територій та навколишнє природне середовище існує необхідність вибору нового способу закріплення поверхонь діючих хвостосховищ, з яких відбувається винесення пилу.

3. При виборі шляхів розв'язання проблеми боротьби з пилоутворенням ділянок діючих хвостосховищ, відвалів та автодоріг ГЗК необхідно використовувати диференційний підхід залежно від умов експлуатації, рельєфу та властивостей поверхні.

4. Для зменшення шкідливих викидів пилу з поверхні хвостосховищ, відвалів та автодоріг найбільш доцільним визначили використання закріплення поверхні за допомогою розчинів хімічних сполук.

5. Тому пропонується, в умовах хвостосховищ, відвалів та автодоріг ПАТ «ПівдГЗК» використовуватися закріплювач на основі розчину бішофіту. За умови рівномірного зрошування, на поверхні утворюється покриття здатне ефективно протистояти вітровій ерозії протягом трьох місяців і більше.

6. При нанесенні цих розчинів доцільно використовувати такі машини як АОП-35 чи їхні аналоги, що дозволить зменшити залучення персоналу для боротьби з виносом пилу.

7. Використання РПБ дозволить вирішити проблему забруднення повітря пилом і покращить умови праці як персоналу комбінату так і екологічну ситуацію району.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондарчук О.М. Підвищення екологічної безпеки територій впливу залізородних гірничо-збагачувальних комбінатів на основі зменшення пиловиділення шламосховищ. / Бондарчук О.М. / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук – Нац. гірничий ун-т.-Дніпропетровськ, 2010. 120с.
2. Смокоткина Г.Н. Влияние хвостохранилищ Дзержинского горно-металлургического комбината на воздушный бассейн г. Дзержинска и санитарно-бытовые условия жизни населения / Г.Н.Смокоткина // Сб. научных статей «38 итоговая научная конференция Казахского мединститута», Алма-Ата. – 1966. – 128 с.
3. Даулбаев Ф.А., Шанина Т.Н. К вопросу о влиянии хвостохранилища обогатительной фабрики комбината «Ачполиметалл» на внешнюю среду / Ф.А.Даулбаев, Т.Н.Шанина.// Сб. научных статей «38 итоговая научная конференция Казахского мединститута», Алма-Ата. – 1966. –128 с.
4. Михайлов В.А. Борьба с пылью в рудных карьерах / В.А.Михайлов, П.В.Бересневич, В.Г.Борисов. – М. : Недра. – 1981. – 262 с.
5. Бересневич П.В. Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостохранилищ / П.В. Бересневич, Н.Г. Кузьменко, Н.Г. Неженцева. – М.: Недра, 1993. – 128 с.
6. Оцінка впливу переносу часток хвостів з поверхні хвостосховищ в наслідок вітрової ерозії на забруднення ґрунтів прилеглих територій / Г.А.Трахтенгерц, В.В.Станкевич. Державна установа «Інститут гігієни та медичної екології імені О.М. Марзєєва АМН України», Київ. – 2007. – 407 с.
7. Разработка рекомендаций по уменьшению пыления хвостохранилища ОАО «СевГОК» : Отчет по НИР (Заключительный) / ПО НТС ГП «НИГРИ» Кривой Рог, 2008. – 74 с.
8. Нестеренко О. В. Підвищення ефективності знепилювання автомобільних доріг у кар'єрах. / Нестеренко О.В. / Дисертація на здобуття наукового

ступеня кандидата технічних наук – Криворізький технічний ун-т.- Кривий Ріг, 2008. 130с.

9. Арсеньтьев Л.А. Использование отходов обогащения железорудных ГОКов в строительном производстве / Л.А.Арсеньтьев, А.В.Крыжановский, А.П.Химченко // Складирование и утилизация отходов переработки руд черных металлов: Отрасл. темат. сб. института Механообрчермет – М. : Недра, 1991. – С. 64-66.
10. Сирадзе Л.М., Шанакидзе В.Н. Строительные материалы и стеклянная тара на основе хвостов обогащения марганцевых шламов / Л.М.Сирадзе, В.Н.Шанакидзе / Комплексное использование руд черных металлов: Отрасл. темат. сб. института Уралмеханообр. – Свердловск : и-т Уралмеханообр. – 1975. – С. 85-87.
11. Лесовик Р.В. Комплексное использование хвостов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов // Горный журнал, 2004, №1. – С. 76-77.
12. Пьячев В.А. Хвосты обогащения Качканарских руд – сырье для производства цементного клинкера / В.А.Пьячев, В.М.Уфимцев, Ф.Л.Капустин, и др. / Известия ВУЗов «Горный журнал». – 1998. – №3-4. – С.58-64.
13. Использование хвостов Оленегорского ГОКа / А.И.Акатов, В.В.Смирнова / Складирование и утилизация отходов переработки черных металлов: Отрасл. темат. сб. института Мехпнообрчермет. – М. : Недра. – 1991. – С. 70-77.
14. Черконос А.И. К вопросу пылеподавления на хвостохранилищах Криворожских горно-обогатительных комбинатов / А.И.Черконос, В.А.Михайлов, В.Г.Борисов. / «Вентиляция и очистка воздуха». – Вып. 5. – М. : Недра. – 1969. – 65 с.
15. Флейтман Д.С. Використання щебеню з залістистих кварцитів Кривбасу // Будівельні матеріали й конструкції.- 1974.- №3. - С. 12-14.

16. Тохтуев Г.В., Борисенков В.Г., Титлянов А.В. Фізико-механічні властивості гірських порід Кривбасса. - К.: Гостехиздат УРСР, 1962. - 102 с.
17. Домнічев М.В. Розробка технології знепилювання хвостосховищ гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу /Домнічев М.В. / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук – Криворізький технічний ун-т.- Кривий Ріг, 2010. 129с.
18. Горчаков Г. И. Будівельні матеріали. – М.: Вища школа, 1981. – 411 з.
19. Нестеренко О. В. Підняття пилу із сухої поверхні автодороги / Гірський інформаційно-аналітичний бюлетень. – М.: МГУ, 2000, №7 - С. 93-94.
20. Бересневич П.В., Сашенко В.Г. Прогноз складу атмосфери в залізорудних кар'єрах, способів і засобів її нормалізації // Сб. наукових праць НГУ. - Дніпропетровськ, 2004. - С.92-99.
21. Бересневич П.В., Борисов В.Г., Колісник І.Я., Коваленко Э.А. Дослідження аутогезиї пилу гірських доріг кар'єрів // Фізико-технічні проблеми розробки корисних копалин. - Новосибірськ. - №2. - 1977. - С.115-118.
22. Одинцов Б.Н., Бондаренко Г.Н., Неаронова Г.Ф. Щебені із супутніх порід Криворізького залізорудного басейну // Автомобільні дороги.- 1975. - №110. - С. 15.
23. Скорченко В. Ф., Лисий В. М. Існуючі заходи по знепиленню дорожніх покриттів та експлуатаційні характеристики знепилюючих композицій // Автошляховик України. - №1. - 1997. - С. 41-43.
24. Тыщук В.Ю. Розробка й дослідження засобів пылеподавления на кар'єрних автодорогах // Сб. наукових праць НГУ. - Дніпропетровськ, 2004. - С. 213-219.
25. Рожевий Ю.Н. Обеспыливание автомобильных доріг з перехідними й нижчими типами покриттів. / ЦБНТИ Минавтодора.- М., 1982. - С. 52.
26. Домнічев М.В. Спосіб закріплення сухих поверхонь діючих хвостосховищ // Домнічев М.В., Заїкіна Д.П., Швагер Н.Ю., Нестеренко

О.В. Пат. на корисну модель №116406 – Криворізький технічний ун-т.-
Кривий Ріг, 2017. 3с.

27. Салій І. В. Розробка засобу пригнічення пилоутворення на шлакових відвалах гірничо-металургійних виробництв : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук – Державна установа "Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці" (ННДПБОП).- Київ, 2012. 129с.