

Криворізький національний університет
Кафедра охорони праці та цивільної безпеки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Тема

кваліфікаційної роботи

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ПИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ
НА ПРАЦІВНИКІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Виконав з во Селезньов І.В.

Науковий керівник к.т.н., доц. Нестеренко О.В.

Кривий Ріг – 2026

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, 41 використаних джерел, містить 7 рисунків та 8 таблиць і викладена на 63 стор.

В роботі розроблена система оцінювання пилового навантаження на працівників промислових підприємств.

У першому розділі розглянуто пилове забруднення робочої зони: джерела, вплив та нормативне регулювання. Пиловий фактор є одним із ключових ризиків у гірничодобувній галузі, оскільки визначає розвиток професійних захворювань органів дихання — від хронічного пилового бронхіту до різних форм пневмоконіозу.

У другому розділі проведено комплексний аналіз фракційного складу пилу та заходів зниження пилового навантаження.

Третій розділ присвячено оцінюванню умов праці та пилового навантаження на працівників гірничих підприємств Кривбасу.

У четвертому розділі розглянуто питання оцінки ефективності працезохоронних заходів.

Ключові слова: пилове навантаження, гірничодобувні підприємства, фракційний склад пилу, умови праці, професійні захворювання

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку промисловості забезпечення безпечних умов праці є одним із ключових завдань охорони праці. Одним із найбільш поширених шкідливих факторів виробничого середовища є промисловий пил, що утворюється під час механічної обробки матеріалів, дроблення, шліфування, транспортування сипких речовин і буріння. Дрібнодисперсні частинки довго залишаються в повітрі робочої зони та проникають у дихальні шляхи, накопичуючись у легенях і становлячи значну небезпеку для здоров'я працівників.

За даними Міжнародної організації праці, значна частина працівників у світі зазнає впливу шкідливих виробничих факторів, серед яких пил займає провідне місце [1]. Щороку фіксуються мільйони випадків професійних захворювань, значна частина яких пов'язана з пиловими аерозолями [1].

Особливо небезпечним є пил, що містить кристалічний діоксид кремнію, оскільки, за оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я та Міжнародної організації праці, саме кремнеземний пил є однією з основних причин тяжких професійних захворювань і смертності серед працівників промислових галузей [2].

Найбільш небезпечним також є пил із вмістом азбесту або вугільних частинок, оскільки він спричиняє розвиток тяжких професійних захворювань дихальної системи, зокрема пневмоконіозу, силікозу та хронічного бронхіту. Ризик зростає зі збільшенням концентрації пилу та тривалості його впливу [3].

Сучасні умови виробництва потребують удосконалення методів оцінювання пилового навантаження, зокрема шляхом застосування комплексного моніторингу концентрації пилу та часу його впливу. Це дає змогу точніше визначати рівень професійного ризику та своєчасно впроваджувати заходи щодо зниження запиленості виробничого середовища.

Отже, удосконалення системи оцінювання пилового навантаження є важливим напрямом підвищення безпеки праці, зниження професійної захворюваності та покращення умов виробничого середовища.

РОЗДІЛ 1

ПИЛОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ: ДЖЕРЕЛА, ВПЛИВ ТА НОРМАТИВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ

1.1 Пилове навантаження робочої зони

Пилову обстановку на промислових об'єктах доцільно розглядати у двох підходах — вузькому та розширеному. У вузькому трактуванні це поняття стосується переважно робочої зони і охоплює такі показники, як рівень концентрації пилу в повітрі, його фізико-хімічні характеристики, гранулометричний (дисперсний) склад, а також пиловий баланс замкнених приміщень. Важливим елементом при цьому є інтенсивність виділення пилу технологічним обладнанням безпосередньо у виробниче середовище. Додатково враховуються способи і засоби боротьби з пилом — зокрема, системи пиловидалення, пилопригнічення та інші технологічні рішення.

У ширшому розумінні пилова обстановка включає не лише параметри робочої зони, а й обсяги викидів пилу в атмосферне повітря, а також ефективність функціонування пилогазоочисного обладнання [4].

Складна пилова ситуація є типовою для підприємств видобувної галузі, що зумовлено значним рівнем запиленості повітря, недостатньо ефективним застосуванням технологій пилопригнічення та обмеженою результативністю засобів індивідуального захисту працівників.

1.2 Джерела пилоутворення при видобутку залізної руди

У шахтних умовах пил утворюється переважно в процесах руйнування і дроблення гірських порід, під час навантаження та переміщення гвірничої маси, а також при виконанні ремонтних робіт. Рівень запиленості повітря у виробках значною мірою визначається гірничо-геологічними умовами, міцністю породи, ступенем водонасиченості, особливостями залягання пласта, а також обраними технологіями видобутку й транспортування. У залізорудних шахтах концентрація пилу в підземному повітрі зазвичай коливається в межах 5-50 мг/м³, однак під час виконання інтенсивних гірничих робіт може зростати до 100-150 мг/м³ і більше [5].

Найбільш інтенсивне утворення пилу в залізорудних шахтах пов'язане з роботою бурових установок, вибуховими роботами, процесами дроблення та навантаження гірничої маси, а також функціонуванням навантажувально-доставочних машин і конвеєрного транспорту. У робочих зонах операторів і машиністів цього обладнання концентрація пилу часто досягає десятків міліграмів на кубічний метр повітря, а при виконанні найбільш пилонебезпечних операцій може значно зростати.

Пилова обстановка в підземних виробках залізорудних шахт, як у межах усього шахтного поля, так і на окремих його ділянках, суттєво визначається параметрами вентиляційних потоків - їх швидкістю, напрямком і стабільністю. Саме рух повітря впливає на процеси перенесення, накопичення та видалення пилу й супутніх шкідливих домішок, а в окремих випадках може сприяти вторинному пилоутворенню. Додатково рівень запиленості залежить від відстані до джерел пиловиділення, а також від мікрокліматичних умов у виробках.

В ДОДАТКІ 1 наведені джерела утворення пилу на кар'єрі під час видобутку та переробки мінеральної сировини [4] .

Аналіз наукових досліджень свідчить, що, незважаючи на впровадження різних способів пилопригнічення, рівень запиленості повітря на всіх етапах відкритого видобутку вугілля часто перевищує встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК) для робочої зони.

Зокрема, на підприємствах Криворізького залізорудного басейну встановлено, що найбільш несприятливі умови праці характерні для водіїв кар'єрних самоскидів БелАЗ, у робочій зоні яких спостерігається підвищений рівень запиленості повітря. За результатами досліджень, середня концентрація пилу в кабінах водіїв великовантажних самоскидів зазвичай становить 4-8 мг/м³, що перевищує гранично допустимі концентрації для пилу переважно фіброгенної дії (2-4 мг/м³). В окремих випадках, особливо під час навантаження та транспортування гірничої маси, рівень запиленості може зростати до 10 мг/м³ і більше. Це свідчить про недостатню ефективність існуючих заходів пилопригнічення та необхідність їх удосконалення [6].

Узагальнені результати аналізу даних щодо запиленості повітряного середовища, отримані з різних джерел, наведені в ДОДАТКІ 2 [7].

1.3 Вплив пилу на організм людини

За результатами досліджень встановлено, що один із найвищих рівнів професійної захворюваності спостерігається серед працівників гірничодобувної галузі. Значна частка персоналу, зайнятого видобутком корисних копалин, працює в умовах впливу шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища. Навіть за умов модернізації виробництва рівень професійних ризиків залишається

високим, особливо у видобувних підгалузях із інтенсивним техногенним навантаженням [8].

Умови праці на гірничих підприємствах Криворізького залізорудного басейну характеризуються комплексною дією пилових аерозолів, шуму, вібрації, несприятливого мікроклімату та шкідливих газів, що суттєво впливає на стан здоров'я працівників і потребує постійного вдосконалення систем охорони праці [8].

Як видно з рисунка 1.1, до найпоширеніших шкідливих факторів у гірничій промисловості належать шум, ультразвук, інфразвук, аерозолі та світлові навантаження, які можуть призводити до розвитку професійних захворювань.

Найчастіше серед професійної патології на підприємствах Кривбасу реєструються захворювання органів дихання, порушення, пов'язані з дією вібрації, ураження опорно-рухового апарату та слухового аналізатора.

Провідне місце займають хвороби дихальної системи, що зумовлено інтенсивним утворенням пилу та шкідливих газів під час видобутку і транспортування руди. Тривалий вплив пилового фактору є основною причиною розвитку професійних захворювань пилової етіології.

Ризик їх виникнення залежить від концентрації пилу, тривалості впливу, індивідуальних особливостей організму та фізико-хімічних властивостей пилу, зокрема розміру частинок і їх аеродинамічних характеристик [9].

Дія пилу має кумулятивний характер: його негативний вплив накопичується з часом. Кількість частинок, що потрапляють у дихальні шляхи, залежить від умов повітряного середовища, частоти дихання та стану слизових оболонок, а також від способу дихання (через ніс або рот).

Основна частина пилу (до 90%) затримується у верхніх відділах дихальної системи - в носовій порожнині, носоглотці, трахеї та бронхах - завдяки захисній

функції слизової оболонки. Водночас дрібнодисперсні частинки проникають у нижні відділи легень, де можуть накопичуватися. За тривалого впливу пилу відбувається зниження захисних властивостей слизових оболонок, виникають патологічні зміни у дихальних шляхах, що може призводити до розвитку пилового бронхіту. Особливо небезпечними є частинки розміром до 5 мкм, які здатні проникати глибоко в легеневу тканину та спричиняти розвиток пневмоконіозу [9].

Розвиток пневмоконіозу пов'язаний із тривалим вдиханням фіброгенного пилу. Перебіг захворювання, частота його виникнення та ступінь тяжкості залежать не лише від концентрації пилу, але й від супутніх виробничих факторів, зокрема мікроклімату (перегрівання або переохолодження), рівнів шуму та вібрації, а також важкості й напруженості трудового процесу.



Рисунок 1.1 - Вплив шкідливих виробничих факторів на працівників гірничовидобувних підприємств Кривбасу, %

Згідно з класифікацією професійних захворювань, виділяють основні форми пневмоконіозу: силікоз (вдихання пилу з вільним діоксидом кремнію); силікатози

(асбестоз, талькоз, апатитоз тощо) - при впливі силікатного пилу зі зв'язаним кремнеземом; карбокониози (антракоз, графітоз тощо) - при вдиханні вуглецевмісного пилу; антракосилікоз - при поєднаній дії вугільного пилу та вільного діоксиду кремнію; металокози - при впливі металевого пилу, що може накопичуватися в легенях [10].

Пневмокози належить до прогресуючих захворювань бронхолегеневої системи та займає одне з провідних місць у структурі професійної патології у світі. Він розвивається внаслідок тривалого вдихання промислового, переважно фіброгенного пилу, і супроводжується формуванням дифузного фіброзу легеневої тканини. Особливо небезпечним є пил із вільним діоксидом кремнію, який є основним етіологічним фактором силікозу.

За даними міжнародних досліджень, пневмокози залишається однією з найпоширеніших професійних патологій у світі. Зокрема, у Китаї він становить понад 80% усіх випадків професійних захворювань, щорічно реєструється 10-23 тис. нових випадків, а загальна кількість хворих перевищує 1 млн осіб. В Індії близько 10 млн працівників зазнають впливу кремнієвмісного пилу, що створює високий ризик розвитку цього захворювання серед працівників гірничодобувної, будівельної та обробної галузей.

У країнах Південно-Східної Азії проблема пневмокози також залишається актуальною. У В'єтнамі частка цього захворювання у структурі професійної патології становить близько 75-76%. У Бразилії впливу пилу з високим вмістом діоксиду кремнію зазнають близько 6,6 млн працівників, а в країнах Латинської Америки від 30 до 50% працівників гірничодобувної галузі мають ознаки пневмокози або належать до групи високого ризику. Серед підземних робітників частота силікозу досягає 37%, а серед шахтарів віком понад 50 років - близько 50%.

У розвинених країнах проблема також залишається значною. У США кількість хворих на різні форми пневмоконіозу оцінюється приблизно в 1 млн осіб, а щорічна смертність від його ускладнень становить близько 2000 випадків. У Великій Британії щороку реєструється понад 5000 нових випадків захворювання, а смертність сягає близько 1300 осіб на рік. У Японії понад половина працівників підземного видобутку мають ознаки пневмоконіозу, тоді як в Австрії поширеність захворювання серед шахтарів становить від 2 до 20% залежно від умов праці та стажу роботи.

В Україні проблема пневмоконіозу особливо актуальна для регіонів із розвиненою гірничодобувною промисловістю, зокрема Криворізького залізрудного басейну. Висока запиленість повітря робочої зони, тривалий контакт із пилом та одночасний вплив шуму, вібрації й несприятливого мікроклімату створюють умови для розвитку професійних захворювань органів дихання. Особливо небезпечними є дрібнодисперсні частинки пилу розміром менше 5 мкм, які проникають у глибокі відділи легень і викликають фіброзні зміни.

Розвиток пневмоконіозу характеризується тривалим латентним періодом, через що захворювання часто проявляється через багато років після початку контакту з пилом. Це ускладнює своєчасну діагностику та лікування. Крім того, пневмоконіоз часто супроводжується хронічним бронхітом, емфіземою легень і туберкульозом, що суттєво погіршує стан хворих.

Таким чином, пневмоконіоз залишається глобальною проблемою охорони праці та громадського здоров'я. Основними заходами профілактики є зниження рівня запиленості повітря, удосконалення технологічних процесів, застосування систем вентиляції та пилопригнічення, забезпечення працівників ефективними засобами індивідуального захисту, а також регулярний медичний контроль і раннє виявлення захворювання [11].

В табл 1.1 зведена інформація про поширеність пневмоконіозу серед працівників гірничодобувної галузі у світі

Таблиця 1.1 — Поширеність пневмоконіозу серед працівників гірничовидобувної галузі у світі

Країна / регіон	Галузь	Показники поширеності	Характеристика ситуації
Китай	Вугледобувна, рудна промисловість	У 2016 р. зареєстровано 27 992 випадки пневмоконіозу, що становило 88,1% усіх професійних захворювань; силікоз і пневмоконіоз шахтарів — 95,5% випадків пневмоконіозу	Один із найвищих рівнів професійної пилової патології у світі
США	Вугледобувна промисловість	За 1968–2015 рр. підтверджено 37 965 випадків рнеумосопіosis шахтарів; понад 75 тис. смертей пов'язані з СWР	Попри жорсткі норми контролю, фіксуються нові випадки захворювання
Австралія	Вугільна промисловість	У сучасний період відзначено повторне зростання випадків СWР, після тривалого зниження захворюваності	Пов'язано з удосконаленням скринінгу та умовами праці
ПАР	Золото- та рудодобувна галузь	У окремих групах шахтарів поширеність силікозу перевищує 20–30% (за даними досліджень золоторудної промисловості)	Високий вплив кварцовмісного пилу
Індія	Гірничодобувна та каменеобробна промисловість	Серед працівників, зайнятих видобутком сланцевих порід, поширеність силікозу досягає 55%	Недостатній контроль пилового фактора
Світові дані (метааналіз)	Мінеральний видобуток	Узагальнена поширеність силікозу серед 162 449 працівників із 26 країн - 17%; у металорудних шахтах - 18%, у каменедобувній галузі - 20%	Поширеність залежить від виду копалин і рівня промислової безпеки
Україна	Вугільна та залізорудна промисловість	Пневмоконіози становлять близько 24,4% структури професійної захворюваності працівників, пов'язаної з промисловими аерозолями	Високе пилове навантаження та значна частка кремнієвмісного пилу

З метою запобігання професійним захворюванням здійснюється систематичний контроль запиленості повітря робочої зони та встановлюються гранично допустимі концентрації (ГДК) пилу - рівні, за яких ризик негативного впливу на здоров'я є мінімальним. У різних країнах підходи до визначення цих нормативів формувалися з урахуванням спільної мети — зниження професійної захворюваності, хоча методи їх обґрунтування відрізнялися.

Дослідження показали, що у здорової людини до 90% пилових частинок, переважно крупнодисперсних, затримуються у верхніх дихальних шляхах і виводяться з організму без суттєвої шкоди. Найбільшу небезпеку становлять дрібнодисперсні частинки, здатні проникати у глибокі відділи легень.

Порівняльні дослідження частинок PM_{10} та $PM_{2,5}$ свідчать, що найбільш небезпечними є частинки розміром менше 2,5 мкм. Зростання їх концентрації пов'язане зі збільшенням частоти гострих і хронічних захворювань, а також смертності. Водночас великі частинки також можуть негативно впливати на серцево-судинну систему.

Результати досліджень підтверджують, що тверді аерозольні частинки несприятливо впливають на серцево-легеневу систему, сприяють підвищенню рівня госпіталізації та передчасної смертності навіть за концентрацій, які не перевищують встановлені нормативи. У зв'язку з цим актуальним є вдосконалення підходів до нормування пилу з урахуванням не лише його концентрації, а й дисперсного складу [12].

1.4 Нормування пилового навантаження

У багатьох індустріально розвинених країнах розробляються нормативи якості атмосферного повітря, які визначають допустимі рівні викидів

забруднюючих речовин з урахуванням їх впливу на довкілля та здоров'я населення. Такі стандарти дають змогу регламентувати антропогенне навантаження та контролювати стан повітряного середовища.

Ще у 1963 році Всесвітня організація охорони здоров'я запропонувала підхід до оцінювання забруднення повітря, заснований на визначенні граничних рівнів впливу залежно від концентрації шкідливих речовин і тривалості їх дії на організм людини. Запропонована класифікація передбачає чотири рівні забруднення та використовується як основа для формування національних стандартів якості повітря [14]. Класифікація наведена в ДОДАТКІ 3.

Наразі в Україні оцінювання якості атмосферного повітря на підприємствах здійснюється відповідно до санітарно-гігієнічних нормативів, які регламентують допустимий вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Нормативними документами встановлюються гранично допустимі концентрації (ГДК) для різних хімічних речовин і їх сумішей, що дозволяє визначати рівень безпеки виробничого середовища для працівників.

Відповідно до міжнародних підходів, зокрема стандартів серії ISO, кількісна оцінка забруднення повітря базується на визначенні масової концентрації твердих, рідких і газоподібних речовин у $\text{мкг}/\text{м}^3$. Такий підхід є найбільш універсальним, оскільки враховує реальну масу шкідливої речовини, що надходить в організм людини. Саме тому показник масової концентрації використовується в Україні та більшості країн світу.

Останніми роками у міжнародній практиці відбувся перехід від оцінки загальної кількості зважених частинок до врахування дисперсного складу пилу, зокрема концентрацій частинок PM_{10} та $\text{PM}_{2.5}$. Такий підхід дозволяє точніше оцінювати ризики для здоров'я, оскільки дрібнодисперсні частинки здатні проникати у глибокі відділи дихальної системи та спричиняти тяжкі захворювання.

Згідно з міжнародними рекомендаціями, що застосовуються у США та країнах Європи, контроль концентрацій PM_{10} і $PM_{2,5}$ здійснюється за усередненими годинними, добовими та річними значеннями. Це дає змогу оцінювати як короткочасний, так і тривалий вплив забруднення повітря на організм людини, що має важливе значення для профілактики професійних та екологічно зумовлених захворювань [12].

Для обґрунтування гранично допустимих концентрацій (ГДК) пилу широко використовуються показники респірабельної фракції, яка становить найбільшу небезпеку для органів дихання. Згідно з міжнародними рекомендаціями, зокрема Національного інституту охорони праці США (NIOSH), для пилу без вмісту кварцу рекомендовані концентрації становлять близько 1 мг/м^3 , а для кварцевого пилу — близько $0,05 \text{ мг/м}^3$ через його високу фіброгенність і здатність спричиняти силікоз.

В Україні нормування пилу в повітрі робочої зони також базується на врахуванні вмісту діоксиду кремнію. Для пилу з вмістом кварцу 10-70% ГДК становить близько 2 мг/м^3 , при вмісті 2-10% - до 4 мг/м^3 , а при вмісті менше 2% - до 10 мг/м^3 . Такий підхід дозволяє враховувати токсичність пилу залежно від його складу.

Дослідження свідчать, що тривалий вплив запиленого повітря призводить до виснаження захисних механізмів дихальної системи, унаслідок чого навіть крупнодисперсний пил може проникати у глибокі відділи легень і підвищувати ризик розвитку пневмоконіозів та інших хронічних захворювань.

Особливу небезпеку становлять дрібнодисперсні частинки, частка яких у загальному пилу може становити 5-20%. Тому навіть невисокі концентрації респірабельного пилу можуть відповідати значному рівню загальної запиленості повітря.

Контроль якості повітря робочої зони в Україні здійснюється шляхом визначення максимально разових і середньозмінних концентрацій шкідливих речовин відповідно до чинних нормативних документів з охорони праці та гігієни.

Крім того, в Україні, як і в країнах Європейського Союзу, застосовуються сучасні підходи до оцінювання якості повітря з урахуванням концентрацій PM_{10} та $PM_{2,5}$, що відповідає європейським вимогам щодо зниження впливу забруднення повітря на здоров'я населення [15].

Порівняльний аналіз нормативів якості атмосферного повітря свідчить про суттєві відмінності в підходах до оцінки запиленості в Україні та країнах Європейського Союзу і рекомендаціях ВООЗ (ДОДАТОК 4). У міжнародній практиці основна увага приділяється контролю дрібнодисперсних частинок PM_{10} і $PM_{2,5}$, які є найбільш небезпечними для здоров'я людини, оскільки здатні проникати у глибокі відділи дихальної системи.

В Україні традиційно застосовується підхід, заснований на визначенні загальної концентрації зважених речовин у повітрі без деталізації за дисперсним складом. При цьому чинні нормативи для загального пилу є відносно високими (до 500 мкг/м^3 для добового та до 1500 мкг/м^3 для річного усереднення), що ускладнює їх порівняння з міжнародними стандартами.

Європейський Союз і ВООЗ використовують більш сучасний підхід, орієнтований на нормування дрібнодисперсних фракцій пилу. При цьому рекомендації ВООЗ є жорсткішими за європейські, оскільки спрямовані на мінімізацію ризиків для здоров'я навіть за низьких концентрацій забруднення.

Таким чином, гармонізація українських нормативів із європейськими потребує переходу від оцінки загальної запиленості до контролю дисперсного складу пилу, що дозволить точніше оцінювати екологічні та професійні ризики [15].

Узагальнення даних щодо пилової ситуації на гірничодобувних підприємствах України, зокрема Криворізького басейну, свідчить про значну роль пилового фактора у формуванні професійної захворюваності. Запиленість повітря робочої зони є одним із ключових чинників ризику, оскільки пил утворюється на всіх етапах технологічного процесу - від буріння і вибухових робіт до транспортування та переробки руди.

Гірничодобувна галузь залишається однією з провідних за рівнем професійної патології, зокрема пневмоконіозів, розвиток яких безпосередньо пов'язаний із тривалим впливом дрібнодисперсного пилу. Навіть за застосування сучасних засобів пилопригнічення та індивідуального захисту концентрації пилу часто перевищують допустимі рівні.

Відмінності у підходах до нормування пилу в Україні та за кордоном полягають у тому, що вітчизняна система базується на загальній масовій концентрації, тоді як у ЄС і за рекомендаціями ВООЗ основна увага приділяється фракціям PM_{10} і $PM_{2,5}$. Саме дрібні частинки (менше 2,5 мкм) мають найбільший вплив на дихальну систему та розвиток тяжких захворювань.

Отже, удосконалення національної системи нормування якості повітря має передбачати врахування дисперсного складу пилу, що дозволить підвищити рівень захисту здоров'я працівників і наблизити українські стандарти до міжнародних вимог [15].

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1

Несприятливі пилові умови є характерною особливістю гірничодобувних підприємств України, зокрема кар'єрів Криворізького басейну, що зумовлено високою запиленістю повітря робочої зони, недостатньою ефективністю пилопригнічення та обмеженою дією засобів індивідуального захисту. Формування пилового навантаження відбувається на всіх етапах відкритих гірничих робіт — бурінні, вибухових роботах, дробленні, навантаженні та транспортуванні гірничої маси.

Пиловий фактор є одним із ключових ризиків у гірничодобувній галузі, оскільки визначає розвиток професійних захворювань органів дихання — від хронічного пилового бронхіту до різних форм пневмоконіозу.

Аналіз структури професійної захворюваності, пов'язаної з впливом промислових аерозолів, показує, що найбільшу частку становлять пневмоконіози (зокрема силікоз) - близько 24,4%, хронічні обструктивні бронхіти - 21,6%, пилові бронхіти - 16,8%, інші патології - близько 37,2%.

Підходи до нормування пилу в Україні та міжнародній практиці відрізняються: в Україні оцінюється загальна масова концентрація без урахування фракційного складу, тоді як у країнах ЄС та за рекомендаціями ВООЗ нормативи встановлюються для PM_{10} і $PM_{2.5}$. Такий підхід є більш точним для оцінки ризиків і захисту здоров'я працівників [1].

РОЗДІЛ 2

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ПИЛУ ТА ЗАХОДІВ ЗНИЖЕННЯ ПИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

2.1 Вивчення фракційного складу пилу в повітрі робочої зони

Кар'єрний пил, що утворюється під час гірничих робіт і тривалий час перебуває у повітрі у зваженому стані, характеризується неоднорідністю мінералогічного, хімічного та дисперсного складу. Його мінералогічний склад загалом відповідає складу розроблюваних гірських порід, оскільки пил формується внаслідок їх руйнування, тому може вважатися близьким до складу породного масиву у зоні видобутку [1].

Встановлено, що вміст вільного діоксиду кремнію в породах перевищує його частку в пиловій фракції, особливо у дрібнодисперсних частинках, що зумовлено переважним утворенням кварцом крупніших фракцій, які швидко осідають [2].

Хімічний склад пилу визначається складом вихідних порід, однак модифікується під впливом технологічних процесів (бурові, транспортні та вибухові роботи), що сприяє адсорбції токсичних газових компонентів поверхнею частинок.

Ключовим параметром при оцінюванні впливу пилу є його дисперсний склад [18], який визначає аеродинамічну поведінку частинок. Грубодисперсні фракції інтенсивно осідають поблизу джерела, тоді як дрібнодисперсний пил

характеризується тривалим перебуванням у повітрі та здатністю до перенесення на значні відстані, формуючи зони вторинного забруднення.

Дисперсний склад формується під впливом природних і технологічних факторів, зокрема властивостей порід, параметрів бурового процесу (тип долота, режим роботи, подача стисненого повітря, глибина буріння) та ефективності пилопригнічення [18]. Із віддаленням від джерела пилоутворення відбувається зменшення часток великої фракції та збагачення повітря дрібнодисперсними частинками [19].

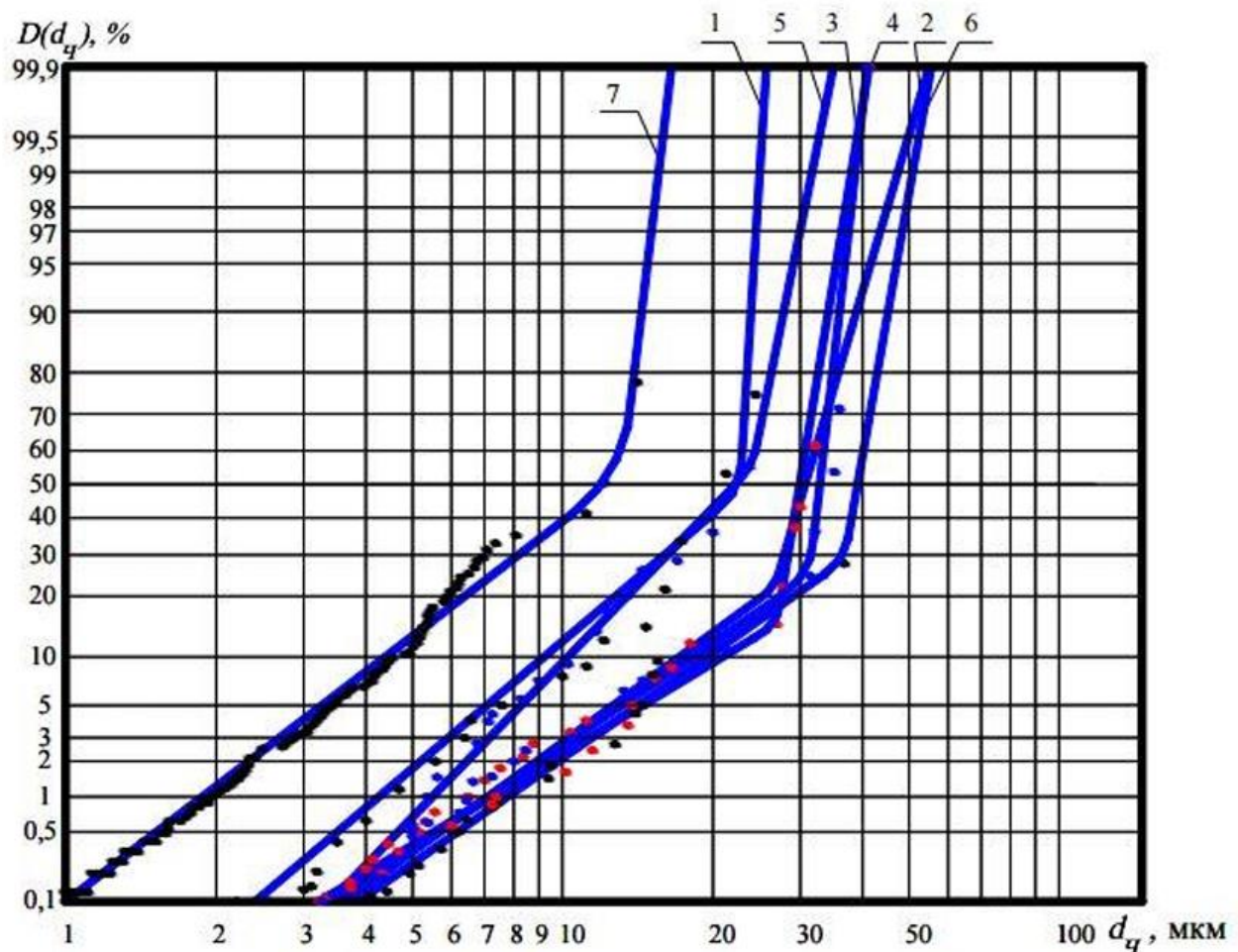


Рисунок 2.1 - Інтегральні криві розподілу маси за діаметрами частинок D (d_q) у ймовірно-логічній координатній сітці для пилу: 1...7 - номери проб

Відповідно до нормативних підходів, дисперсний склад пилу визначається як розподіл частинок за розмірами або швидкістю осідання, що характеризується відносним вмістом окремих фракцій [4]. Кількісно він описується диференціальною $f(d)$ та інтегральною $F(d)$ функціями розподілу, які відображають гранулометричні характеристики пилового аерозолі [20].

Визначення дисперсного складу пилу, тобто отримання функцій розподілу $f(d)$ або $F(d)$, здійснюється за допомогою різних аналітичних методів.

Найпоширенішими серед них є ситовий аналіз, мікроскопічне дослідження частинок із подальшою комп'ютерною обробкою зображень (у діапазоні аеродинамічних діаметрів приблизно 1-1000 мкм), застосування лазерних аналізаторів для визначення розмірів частинок у широкому інтервалі (близько 0,01-2000 мкм), а також седиментаційні методи, що базуються на швидкості осідання частинок у середовищі [21].

Аналіз за допомогою сита (рис. 2.2) належить до «класичних» методів визначення масових функцій розподілу пилу [18].

Сучасні лабораторні сита виготовляють із металевого дроту методом плетіння, а розміри отворів нормуються стандартами. У міжнародній практиці застосовують ISO 3310 (розміри в мкм), тоді як у системі ASTM використовують показник mesh, що відображає кількість отворів на 1 дюйм [22]. В Україні дослідження виконують переважно за гармонізованими стандартами ДСТУ ISO.

Ситовий аналіз застосовують для визначення дисперсного складу відносно крупних проб пилу (приблизно 10-1000 см³) з розмірами частинок у діапазоні 20–1000 мкм. Для дрібніших фракцій використовують мікросита, що дозволяють оцінювати частинки до приблизно 5 мкм.

Основними обмеженнями ситового методу є [18]: обмеження нижньої межі розмірів частинок (приблизно 20 мкм при сухому просіюванні); обмежена

застосовність мікросит (приблизно 5 мкм) при мокрому просіюванні та низька поширеність методу для дослідження вугільного пилу; а також можливі похибки, зумовлені механічним впливом під час вібраційного просіювання, що може призводити до деформації або руйнування частинок.



Рисунок 2.2 - Вібраційний грохот із ситовою колоною (ліворуч) та набір сит (праворуч) (Fritsch, Німеччина)

Другим класичним методом аналізу форми та дисперсного складу пилу є мікроскопічний аналіз, перевагами якого є висока наочність, можливість візуального контролю результатів та дослідження дуже малих проб (від 0,1 мг) [18]. Сучасні електронні мікроскопи з цифровою реєстрацією забезпечують автоматизоване визначення розмірів частинок (у мкм і нм) на основі програмного масштабування та розрахунку їх проєкційної площі.

Скануюча електронна мікроскопія високої роздільної здатності (до 50 000) дозволяє детально досліджувати морфологію частинок, включаючи їх форму, поверхневу структуру, пористість і мікротріщини [18]. Для підвищення достовірності результати мікроскопічного аналізу доцільно доповнювати лазерною дифракційною методикою, яка охоплює значно більшу кількість частинок (на 10^6 - 10^8 більше), що забезпечує статистичну репрезентативність [18].

За класифікацією Н. А. Фукса, пилові частинки поділяють на ізометричні, пластинчасті та видовжені, що відрізняються співвідношенням розмірів у трьох взаємно перпендикулярних напрямках [23].

Форма та розміри частинок визначаються мінералогічними й структурними особливостями порід, зокрема залізистих кварцитів Криворізького басейну, а також технологією їх руйнування (буріння, вибухові роботи, дроблення), режимами механічного впливу та станом обладнання [18].

Скануюча електронна мікроскопія пилу залізородного походження показує переважання частинок неправильної багатогранної форми з ознаками агрегування, наявністю гострих кромки, зламів і мікродфектів поверхні. Значна частина крупних частинок містить дрібнодисперсні “сателітні” фрагменти, що свідчить про високу схильність до агрегації [18].

Експериментально встановлено, що інтенсивність пилоутворення залежить від температури гірських порід: у діапазоні від - 2 до +20 °С спостерігається

зростання частки дрібнодисперсних фракцій (0,4-4 мкм), причому зі зниженням температури цей ефект посилюється [18]. Це зумовлює підвищення загальної інтенсивності пилоутворення в холодний період, що є важливим фактором для умов кар'єрної розробки.

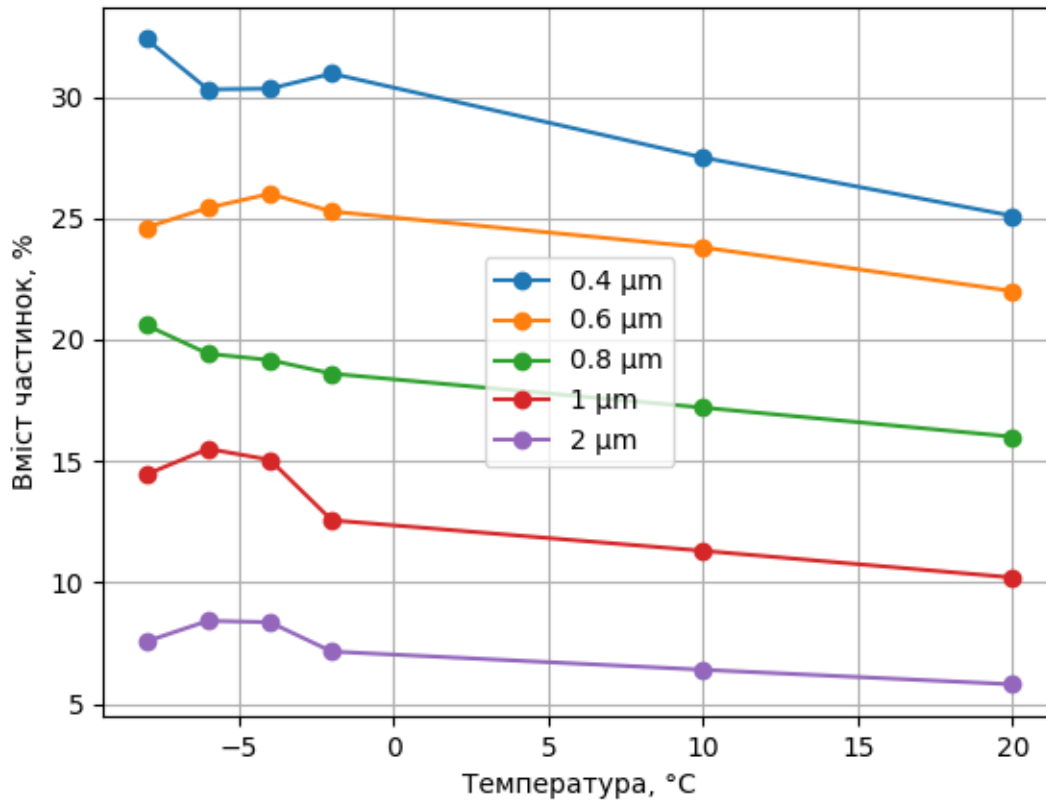
Таблиця 2.1 - Залежність вмісту пилових частинок різних фракцій від температури руйнування порід при видобуванні залізних руд, %

Температура порід, °С	0,4 мкм	0,6 мкм	0,8 мкм	1 мкм	2 мкм	4 мкм	7 мкм	8 мкм
-6	30,31	25,43	19,42	15,50	8,42	0,82	0,05	0,02
-4	30,34	26,10	19,16	15,05	8,36	0,99	0,07	0,02
-2	30,96	25,28	18,60	12,56	7,15	4,69	-	-
+10	27,50	23,80	17,20	11,30	6,40	5,20	0,15	0,1
+20	25,10	22,00	16,00	10,20	5,80	5,90	0,25	0,1

Аналіз отриманих залежностей показує, що зі зниженням температури гірських порід спостерігається зростання вмісту дрібнодисперсних частинок (0,4-1 мкм). При підвищенні температури до +10...+20 °С відбувається поступове зменшення частки цих фракцій, що свідчить про зниження інтенсивності утворення тонкодисперсного пилу. Водночас для більш крупних частинок характерні менш виражені зміни. Це підтверджує, що температурний фактор суттєво впливає на процеси пилоутворення в залізородних кар'єрах.

Узагальнюючи досліджуваний матеріал, можна стверджувати, що для оцінки умов впливу пилового фактора на персонал та проведення моніторингу навколишнього середовища велике значення має дисперсний склад пилу. Оскільки встановлено, що ризик виникнення захворювання пилової етіології залежить від розміру фракцій пилу (наприклад, тривалий контакт з дрібними фракціями пилу (до 5 мкм) може призвести до захворювання на пневмоконіоз).

Залежність вмісту пилових частинок від температури (залізні руди)



Ри
су
но

к 2.3 — Залежність вмісту пилових частинок від температури

Дисперсний склад пилу, що утворюється під час видобутку та переробки залізної руди, визначає його аеродинамічну поведінку, зокрема здатність частинок до перенесення повітряними потоками та тривалість перебування у зваженому стані. Дрібнодисперсні фракції характеризуються тривалим перебуванням в атмосфері та значною дальністю переносу, тоді як крупні частинки швидко осідають поблизу джерела пилоутворення.

Аналіз гранулометричного складу є необхідним для обґрунтування ефективних заходів зниження запиленості та мінімізації ризиків професійних захворювань, оскільки ефективність методів пилопригнічення (зволоження, аспірація, пиловловлювання) залежить від розмірних характеристик аерозолі.

Дисперсний склад залізорудного пилу визначається як кількісне співвідношення частинок різних розмірів у загальній масі аерозолю, що дозволяє встановити переважаючі фракції пилу, який утворюється при руйнуванні залізистих кварцитів, магнетитових і гематитових руд.

Сучасні методи дослідження, зокрема лазерна дифракція, електронна та сканувальна електронна мікроскопія, забезпечують комплексний аналіз пилових аерозолів, поєднуючи визначення гранулометричного складу з дослідженням морфології частинок. Це дає змогу оцінити форму, мікроструктуру, стан поверхні та дефектність частинок, що формуються внаслідок буро-вибухових і дробильних процесів.

2.2 Аналіз способів і засобів зниження пилового навантаження на працівників

Технологічні процеси відкритого видобутку залізної руди супроводжуються підвищеним професійним ризиком, зумовленим інгаляційним впливом залізорудного пилу. Негативний ефект посилюється несприятливими мікрокліматичними умовами кар'єрів, зокрема температурними коливаннями, вітровим режимом і низькою вологістю повітря.

Ефективне зниження пилового навантаження потребує комплексного підходу, що включає дослідження процесів утворення, перенесення, осідання та уловлювання пилу, а також інтегральну оцінку пилової ситуації. Вона передбачає аналіз фізико-хімічних властивостей пилу, інтенсивності його надходження з організованих і неорганізованих джерел, просторового розподілу концентрацій у робочій зоні та формування пилового балансу виробничих ділянок.

Важливим етапом є оцінювання ймовірності перевищення гранично допустимих концентрацій та аналіз ризику розвитку професійних захворювань

залежно від температурних умов експлуатації кар'єрів, що дозволяє обґрунтувати вибір технічних і організаційних заходів пилопригнічення та підвищити рівень безпеки праці [18].

Система боротьби із запиленістю на гірничодобувних підприємствах включає запобігання утворенню пилу, його пригнічення та уловлювання. У випадках неможливості повного усунення пилоутворення застосовують методи зниження концентрації пилу в повітрі, зокрема коагуляцію частинок, їх осадження в зоні генерації та штучну вентиляцію, що забезпечує видалення пилоповітряних сумішей із робочих зон.

Умови відкритого видобутку зумовлюють доцільність класифікації джерел пилоутворення на локальні та площинні, що підвищує обґрунтованість вибору заходів пилопригнічення та засобів індивідуального захисту [18].

В ДОДАТКІ 5 наведена класифікація джерел пилоутворення в умовах відкритого видобутку залізної руди.

Джерела локального типу відзначаються високою інтенсивністю утворення пилу при відносно невеликій зоні його поширення, що дає змогу ефективно застосовувати інженерні методи пилопригнічення. Натомість площинні джерела охоплюють значні території та значною мірою залежать від метеорологічних умов, що потребує комплексних рішень для зниження запиленості [18].

Зниження пилового навантаження на підприємствах мінерально-сировинного комплексу здійснюється на всіх етапах формування пилу — від його утворення під час руйнування гірських порід до підйому та перенесення повітряними потоками, а також перебування в аерозольному стані [18]. До основних способів контролю запиленості належать запобігання утворенню пилу, коагуляція та осадження частинок, очищення повітря фільтраційними методами, а

також організація вентиляційного розрідження та видалення пилоповітряних сумішей [18; 24].

Узагальнено заходи зі зменшення пилового навантаження поділяють на організаційні, технологічні, технічні та біологічні. Їх вибір визначається сукупністю економічних, енергетичних, санітарно-гігієнічних і екологічних чинників [24]. Організаційні заходи спрямовані на раціоналізацію режимів ведення гірничих робіт з урахуванням природних та кліматичних умов [18], тоді як технологічні передбачають удосконалення виробничих процесів і впровадження рішень, що зменшують утворення та розповсюдження пилу [18].

Технічні методи ґрунтуються на використанні спеціальних систем і пристроїв для зменшення інтенсивності пиловиділення та його локалізації, які умовно поділяють на «мокрі» та «сухі» способи [18]. Біологічні підходи базуються на застосуванні природних матеріалів і біотехнологічних рішень, включаючи озеленення територій та закріплення поверхонь для запобігання вторинному пилоутворенню [18].

Попри значний обсяг наукових розробок, практична ефективність систем пилопригнічення часто є недостатньою, що пояснюється недосконалістю їх налаштування та експлуатації в реальних умовах гірничих підприємств [18].

У сучасній практиці відкритої розробки залізородних родовищ ключовою проблемою залишається зменшення викидів пилу та газів у атмосферу, основними джерелами яких є буровибухові процеси, транспортування та перевантаження руди. Найбільш результативними вважаються «мокрі» методи пилопригнічення [25, 26], що включають зволоження матеріалу, використання водних або спеціальних реагентів та фіксацію дрібнодисперсних частинок рідкими складами.

Додатково перспективними є технології, що використовують фазові переходи «пара - рідина - лід», які підвищують ефективність осадження пилу в різних

температурних режимах, особливо в умовах сезонних коливань клімату [25]. Основним методом залишається гідрознепилення, ефективність якого може досягати 90–95%, однак вона суттєво залежить від погодних умов та гранулометричного складу пилу [26].

Водне зрошення є найпоширенішим способом зниження запиленості на залізорудних кар'єрах [27], проте в холодний період його ефективність знижується до 35-45% через замерзання систем та порушення формування водного аерозолі.

Додатковим напрямом зменшення пилового впливу є закріплення поверхонь відвалів шляхом нанесення біогенного шару на основі біогумусу та натрієвої солі карбоксиметилцелюлози, що сприяє зменшенню вітрового винесення дрібнодисперсних частинок.

Експериментальні дослідження підтверджують, що нанесення біогенно-полімерних композицій дозволяє зменшити інтенсивність пиловиділення у 10-11 разів та забезпечити підвищення стійкості поверхні відвалів до 90% [25].

Одним із найбільш поширених методів зниження пилового навантаження в умовах відкритих гірничих робіт є водне зрошення, ефективність якого за сприятливих метеоумов може досягати 90-95% [7]. Однак у зимовий період його результативність суттєво знижується через обмерзання форсунок і порушення формування аерозолі, що зменшує здатність води до коагуляції пилових частинок. За таких умов ефективність систем може падати до 35–40% [28].

Як альтернативний напрям розглядається стабілізація поверхонь відвалів шляхом формування захисного біогенного шару на основі біогумусу та натрієвої солі карбоксиметилцелюлози. Такий покрив забезпечує зв'язування дрібнодисперсного пилу та зменшує його вторинне піднімання вітровими потоками. Оптимальні результати досягаються при співвідношенні компонентів

125:1 і товщині шару близько 3 см, що забезпечує зниження пиловиділення у 10-11 разів і підвищення стійкості поверхні до 90% [27].

Додатковим суттєвим джерелом пилу є технологічні автодороги кар'єрів, експлуатація яких супроводжується інтенсивним рухом важкого транспорту. Це призводить до зростання запиленості, зносу техніки та погіршення умов праці. У зоні автодоріг концентрація пилу може досягати $0,5-10^3$ кг/м³, а інтенсивність його утворення - близько 0,014 кг/с. При цьому переважають частинки розміром менше 10 мкм (90-98%), значна частка яких містить до 40-42% вільного діоксиду кремнію, що підвищує ризики пневмоконіозів [7].

Перспективним напрямом є застосування поверхнево-активних речовин, які підвищують змочуваність пилу та сприяють його осадженню, забезпечуючи більш стабільний ефект протягом року [29]. У практиці залізорудних кар'єрів України використовуються вітчизняні та адаптовані ПАР і полімерні композиції (похідні целюлози, лігносульфонати, біополімери), що формують на дорожньому покритті еластичну плівку та запобігають вторинному пилоутворенню. Тривалість їх ефективної дії в умовах Кривбасу становить до 10–14 діб.

Окремим напрямом є конденсаційні методи пилопригнічення під час перевантаження руди в холодний період, що передбачають використання нагрітої води або водяної пари. У роботах українських дослідників [25,29] показано, що підвищення температури робочого агента до 90–95 °С забезпечує інтенсифікацію коагуляції та дозволяє досягати ефективності уловлювання дрібнодисперсного пилу (менше 5 мкм) на рівні 80–85%. Додатково встановлено, що зниження температури повітря сприяє посиленню конденсаційних процесів, що підвищує ефективність методу в зимовий період.

Для буровибухових робіт доцільним є комбіноване пилопригнічення, що передбачає обробку пилогазової хмари до, під час і після вибуху з використанням тонкодисперсних водних або водно-полімерних розчинів. Такі системи

підвищують ступінь осадження пилу завдяки покращенню змочування та агрегації частинок [28]. Рациональне розміщення зрошувальних установок поза зоною вибуху та їх синхронізація з технологічним процесом дозволяють суттєво зменшити розсіювання пилу, що є особливо важливим для умов щільної промислової інфраструктури Криворізького басейну.

На рис.2.4 показано рівні ефективності методів пилопридушення з точки зору цілорічності пилопридушення.

Окрім зазначених заходів, існують прилади для уловлювання аерозолів, які допомагають очистити забруднене повітря та видалити особливо дрібні фракції.

Для уловлювання аерозолів застосовують сухі, мокрі та електричні способи очищення, що здійснюються в апаратах і пристроях різної конструкції. Вибір способу та апарату для уловлювання аерозолів здійснюється залежно від дисперсного складу даного аерозолу (ДОДАТОК 6).

У випадках, коли технічні заходи не можуть забезпечити зниження запиленості повітря на робочих місцях до гранично-допустимих концентрацій, обов'язковим є застосування індивідуальних засобів захисту від пилу.

Гірничодобувні підприємства Криворізького залізорудного басейну (Кривбасу) функціонують в умовах значного сезонного та добового коливання температур повітря. За багаторічними метеорологічними спостереженнями, середньорічна температура в регіоні становить близько +9...+10 °С. У літній період (червень–серпень) максимальні значення температури повітря можуть досягати +35...+40 °С, тоді як у зимовий період (грудень–лютий) мінімальні значення опускаються до -15...-20 °С, а в окремі періоди - до -25 °С. Весняно-осінній період характеризується нестабільними коливаннями в межах -5...+20 °С [30].

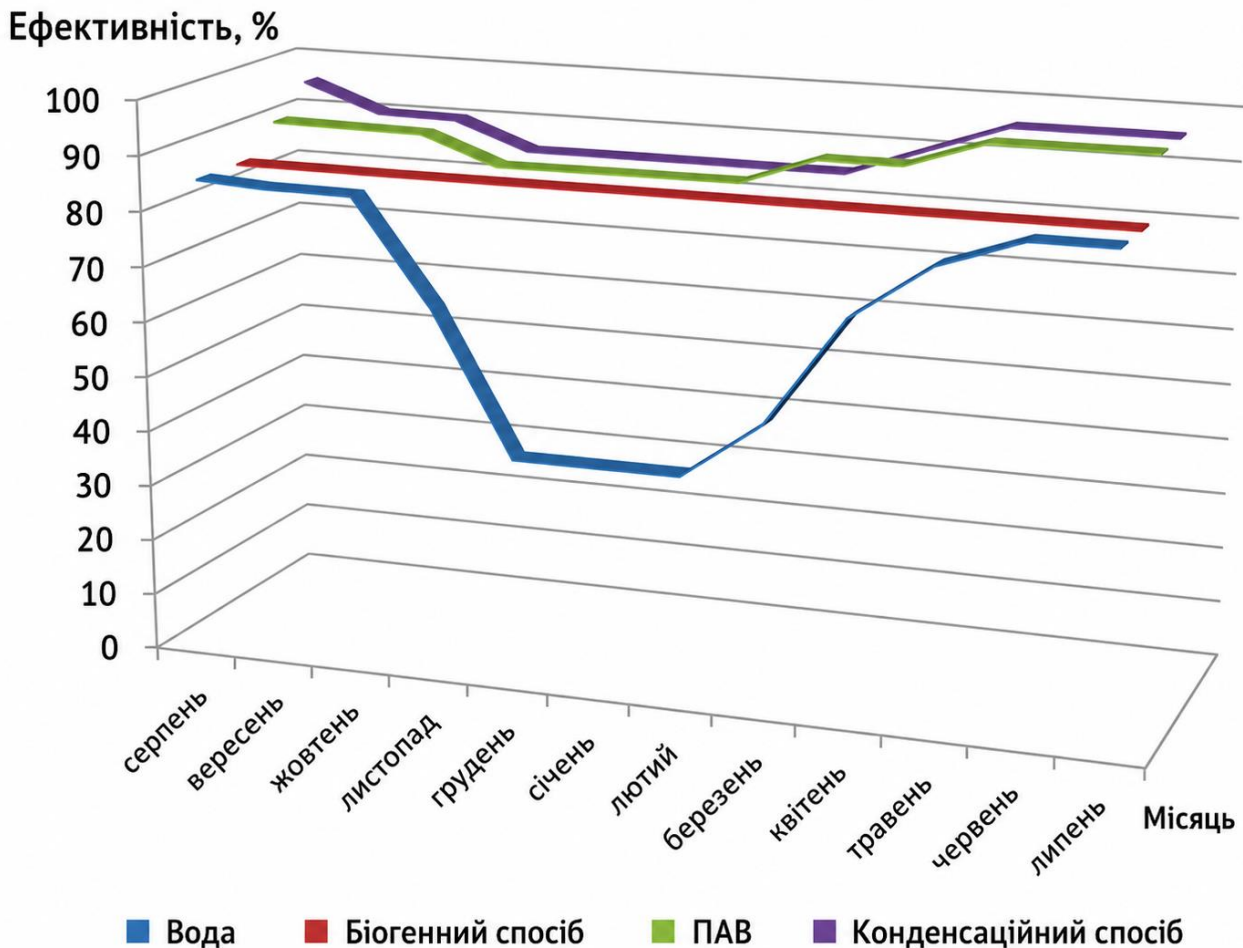


Рисунок 2.4 - Зв'язок ефективності різних методів боротьби з пилом від пори року

Такі кліматичні умови, особливо в поєднанні з високою запиленістю повітря в кар'єрах та на відвалах, створюють додаткове теплове навантаження на організм працівників протягом усього року. Відповідно до гігієнічних нормативів мікроклімату виробничих приміщень і відкритих майданчиків, параметри повітряного середовища повинні забезпечувати збереження нормального теплового стану організму людини та не призводити до перегрівання або переохолодження [31].

У зв'язку з цим застосування засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) на підприємствах Кривбасу має враховувати як пиловий фактор, так і температурні навантаження в різні пори року. До таких засобів належать

автономні респіратори з піддувом повітря, регенеративні респіратори, системи з кисневими балонами та респіратори-кондиціонери, що забезпечують стабілізацію параметрів вдихуваного повітря.

Застосування даних засобів дозволяє частково регулювати температуру вдихуваного повітря у холодний та спекотний періоди року, зменшуючи теплові втрати організму в зимовий період і теплове навантаження в літній. Це сприяє зниженню енергетичних витрат на терморегуляцію, підтриманню стабільного теплового балансу організму та підвищенню працездатності працівників протягом усього року.

Дисперсний склад пилу на гірничих підприємствах Кривбасу визначає інтенсивність його піднімання повітряними потоками та швидкість осідання частинок, що безпосередньо впливає на рівень запиленості робочого середовища. Тому при виборі заходів зниження пилового навантаження ключове значення має гранулометричний розподіл аерозолі, оскільки ефективність існуючих засобів пилопригнічення залежить від розмірних характеристик частинок.

Система боротьби із запиленістю на гірничорудних підприємствах Кривбасу охоплює попередження утворення пилу, його пригнічення та подальше уловлювання. Для очищення повітря застосовують сухі, мокрі та електричні методи, реалізовані в різних типах апаратів і установок. Основними напрямками пилопригнічення є гідрознепилення, використання поверхнево-активних речовин, а також біогенні та конденсаційні технології.

Водночас технічні заходи не завжди забезпечують досягнення гігієнічних нормативів запиленості, тому у випадках перевищення допустимих рівнів обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту органів дихання.

ОЦІНЮВАННЯ УМОВ ПРАЦІ ТА ПИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРАЦІВНИКІВ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ КРИВБАСУ

3.1 Оцінка мікрокліматичних, пилових та фізіологічних факторів умов праці працівників гірничих підприємств Кривбасу

Основним показником оцінювання впливу виробничого пилу на органи дихання працівників є пилове навантаження. Воно характеризує фактичну або прогнозовану сумарну дозу пилу, що потрапляє до органів дихання працівника протягом усього періоду професійної діяльності в умовах запиленого виробничого середовища. У разі перевищення середньозмінної гранично допустимої концентрації фіброгенного пилу проведення розрахунку пилового навантаження є обов'язковим [32].

Розрахунок пилового навантаження на органи дихання працівника (або групи працівників, які виконують аналогічні роботи в однакових виробничих умовах) здійснюється на основі фактичної середньозмінної концентрації пилу в повітрі робочої зони $C_{п,к}$, об'єму легеневої вентиляції, що залежить від важкості праці $V_{л}$, тривалості контакту з пилом, визначеної кількістю робочих змін за календарний рік в умовах впливу пилу N , а також загальної тривалості професійного контакту з пилом у роках T [32].

Об'єм легеневої вентиляції $V_{л}$ залежить від рівня енерговитрат працівника та категорії виконуваних робіт. Відповідно до гігієнічних вимог до мікроклімату виробничого середовища, для різних категорій робіт встановлені орієнтовні значення легеневої вентиляції [33].

Об'єм легеневої вентиляції V_L залежить від рівня енерговитрат працівника та категорії виконуваних робіт. Відповідно до гігієнічних вимог до мікроклімату виробничого середовища, для різних категорій робіт встановлені орієнтовні значення легеневої вентиляції [33].

Фактичне пилове навантаження оцінюють шляхом порівняння з контрольною пиловою навантажкою (КПН), яка характеризує допустимий рівень впливу пилу за умови дотримання середньозмінної гранично допустимої концентрації пилу протягом усього періоду трудової діяльності працівника. Таким чином, пилове навантаження відображає сумарну кількість пилових частинок, що потрапляють до органів дихання працівника за весь час професійного контакту із запиленим середовищем [33].

Контрольне пилове навантаження (КПН) визначається за формулою:

$$\text{КПН} = C_{\text{пдк}} \cdot N \cdot T \cdot V_L$$

де:

КПН — контрольне пилове навантаження, мг;

$C_{\text{пдк}}$ - гранично допустима концентрація пилу в повітрі робочої зони, мг/м³;

N - кількість робочих змін протягом календарного року в умовах дії пилу;

T - тривалість професійного контакту з пилом, років;

V_L - об'єм легеневої вентиляції працівника залежно від категорії важкості праці, м³/зміну.

Контрольне пилове навантаження використовується для оцінювання допустимого рівня впливу пилу на органи дихання працівника за умови дотримання нормативних значень запиленості повітря робочої зони.

Дослідження умов праці на гірничодобувних підприємствах показують, що за температури навколишнього середовища близько 0 °С та концентрації пилу в повітрі 1120 мг/м³ пилове навантаження на органи дихання машиністів

екскаваторів може досягати 8,3 мг/хв. Упродовж восьмигодинної робочої зміни це становить близько 4100 мг пилу. За стажу роботи 15 років сумарна кількість пилу, що потрапляє до організму працівника, може сягати приблизно 15 кг [34].

Проаналізувавши формулу можна зробити висновок, що найбільший вплив на кількість пилу, який вдихає працівник, мають два основні фактори: рівень легеневої вентиляції та середньозмінна концентрація пилу в повітрі робочої зони.

Для працівників гірничих підприємств Кривбасу характерним є тривале перебування на відкритих виробничих майданчиках протягом усього року. Роботи в кар'єрах та на відвалах часто виконуються поза межами опалюваних приміщень до 8 годин за зміну. За таких умов вплив пилового фактора поєднується з несприятливими метеорологічними умовами та підвищеним фізичним навантаженням, що ускладнює умови праці та підвищує ризик професійних захворювань органів дихання.

Дослідження українських і зарубіжних науковців свідчать, що рівень енергетичних витрат працівників суттєво залежить від пори року та параметрів виробничого мікроклімату. Встановлено, що виконання робіт в умовах охолоджувального мікроклімату за температури повітря від -2 до -8°C супроводжується збільшенням енерговитрат працівників на 10–30% порівняно з виконанням аналогічних виробничих операцій у теплий період року за температури $+12\dots+23^{\circ}\text{C}$ [41].

Для гірничодобувних підприємств Криворізького залізорудного басейну підвищення енергетичних витрат працівників обумовлюється не лише впливом низьких температур у зимовий період, а й специфічними кліматичними та виробничими умовами регіону. Значний вплив мають сильні вітрові навантаження у відкритих кар'єрах, підвищена вологість, різкі сезонні та добові коливання температури, а також необхідність тривалого перебування працівників на відкритих виробничих майданчиках.

Додаткове фізичне навантаження створюється використанням утепленого спецодягу та засобів індивідуального захисту, які частково обмежують рухливість працівника під час виконання виробничих операцій. В умовах Кривбасу заміна демісезонного спецодягу на зимовий може спричиняти збільшення енерговитрат організму приблизно на 7 % під час виконання робіт легкої важкості та до 25 % - при виконанні важких фізичних робіт [33].

Умови праці на відкритих гірничих виробках суттєво змінюються залежно від пори року, що безпосередньо впливає на мікроклімат робочої зони, рівень запиленості та теплове навантаження на працівників.

У зимовий період спостерігаються найнижчі температури повітря. У середньому вони коливаються в межах від -5 до -1°C , однак у періоди похолодання можуть знижуватися до -20°C і нижче. Вологість повітря у цей час є підвищеною та зазвичай становить 75-90%. Вітровий режим характеризується переважанням помірних і сильних вітрів. Сукупність таких факторів призводить до значного охолоджувального впливу на організм працівників, підвищує ризик переохолодження, а також ускладнює роботу систем пилопригнічення через можливе обмерзання обладнання та водопровідних комунікацій.

Весняний період відзначається нестійкістю метеорологічних умов. Температура повітря поступово змінюється від 0 до $+18^{\circ}\text{C}$. Відносна вологість коливається в межах 55-75 %. Для цього сезону характерні часті зміни напрямку та швидкості вітру. Такі коливання призводять до нестабільного розповсюдження пилу в повітрі, а також ускладнюють підтримання сталих параметрів мікроклімату на робочих майданчиках кар'єрів.

У літній період формуються найбільш напружені теплові умови. Середня температура повітря становить $+22\dots+30^{\circ}\text{C}$, а під час спекотних хвиль може перевищувати $+35^{\circ}\text{C}$. Вологість повітря знижується до 35-60 %, що сприяє інтенсивному випаровуванню вологи з ґрунту та поверхонь. У цей час часто

спостерігаються суховії та підвищена швидкість вітру. Такі умови призводять до посилення пиловиділення та збільшення теплового навантаження на працівників, що може негативно впливати на їхній фізіологічний стан і працездатність.

Осінній сезон характеризується поступовим зниженням температури повітря до рівня $+5...+18^{\circ}\text{C}$. Відносна вологість зростає до 60-85%, що пов'язано зі збільшенням кількості опадів. Вітровий режим залишається помірним, однак можливі періоди нестабільності. Підвищення вологості певною мірою сприяє зменшенню запиленості повітря, але загальна мінливість погодних умов продовжує впливати на складність організації безпечних і стабільних умов праці у кар'єрах.

Мікрокліматичні умови Криворізького залізорудного басейну суттєво впливають на умови праці працівників відкритих гірничих виробок та формують додаткове фізіологічне навантаження на організм.

Проблеми впливу мікрокліматичних умов на фізіологічний стан працівників та рівень енерговитрат досліджували також українські науковці у сфері охорони праці та промислової безпеки, зокрема фахівці Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України та Науково-дослідного інституту промислової безпеки та охорони праці.

3.2 Енергетичні витрати працівника під час виконання робіт різної важкості

Для оцінювання об'єму легеневої вентиляції важливим фізіологічним показником є рівень енергетичних витрат працівника під час виконання виробничих операцій різної інтенсивності. Саме енерговитрати визначають ступінь фізичного навантаження та безпосередньо впливають на функціональний стан організму і потребу в кисні.

Відповідно до гігієнічної класифікації праці та підходів, розроблених українськими науковцями у сфері охорони праці (зокрема фахівцями Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України), фізичні роботи поділяються за рівнем енерговитрат на категорії залежно від їх важкості (ДОДАТОК 9) [33].

Згідно з дослідженнями українських учених у галузі гігієни праці та промислової безпеки, рівень енергетичних витрат є ключовим фактором, який визначає фізіологічне навантаження на працівника та опосередковано впливає на об'єм легеневої вентиляції і загальний стан працездатності.

Побудуємо карту робочого дня для працівників категорії Іб за різних температур повітря, використовуючи залежність енергетичних витрат від температури повітря [35]. Розрахунок виконується з урахуванням того, що енерговитрати змінюються залежно від температурних умов навколишнього середовища.

Енергетичні витрати при температурі t визначаються за формулою:

$$E(t) = E_n \cdot (1.15 - 7.9 \cdot 10^{-3} t)$$

де:

$E(t)$ - енергетичні витрати при температурі повітря t , Вт;

E_n - енергетичні витрати при нормативній (базовій) температурі повітря, Вт;

t - температура повітря, °С;

$1.15 - 7.9$ - поправковий коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього середовища.

При цьому за базову (нормативну) температуру приймається 20 °С, відносно якої здійснюється коригування енергетичних витрат залежно від фактичних умов роботи.

Таблиця 3.1 - Енергетичні витрати працівників категорії Іб за різних температур повітря

Ен	Е(-20 °С), Вт	Е(-10 °С), Вт	Е(0 °С), Вт	Е(+10 °С), Вт	Е(+20 °С), Вт
100	122,9	134,0	122,7	111,3	100,0
129	138,7	175,3	160,5	145,6	130,8
130,8	183,1	172,1	161,4	150,7	140,0
134	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
140	235,4	221,2	207,5	193,7	180,0
152	228,9	215,1	201,8	188,4	175,0
163	213,2	200,3	187,9	175,4	163,0
175	198,8	186,8	175,2	163,6	152,0
180	183,1	172,1	161,4	150,7	140,0

Таблиця 3.2 - Енергетичні витрати працівників категорії Па за різних температур повітря

Ен	Е(-20 °С), Вт	Е(-10 °С), Вт	Е(0 °С), Вт	Е(+10 °С), Вт	Е(+20 °С), Вт
150	184,4	196,2	208,1	142	150
160	245,8	261,6	277,4	290,6	160
183	282,7	300,8	319,0	334,0	183
190	80,0	80,0	80,0	80,0	190
200	224,9	239,4	253,8	265,8	200
230	196,6	209,3	221,9	232,3	230
240	245,8	261,6	277,4	290,6	240

Таблиця 3.3 - Енергетичні витрати працівників категорії Пб за різних температур повітря

Ен	-20 °С, Вт	-10 °С, Вт	0 °С, Вт	+10 °С, Вт	+20 °С, Вт
180	235,4	221,2	207,5	193,7	180,0
230	300,8	282,7	265,1	247,6	230,0
80	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
260	340,1	319,5	299,7	279,8	260,0

Ен	-20 °С, Вт	-10 °С, Вт	0 °С, Вт	+10 °С, Вт	+20 °С, Вт
300	392,4	368,7	345,1	320,7	300,0
315	412,0	387,0	363,0	339,0	315,0
200	261,6	245,8	230,7	215,6	200,0
220	287,8	270,4	253,6	236,8	220,0
130	170,0	159,8	149,9	139,9	130,0

Таблиця 3.4 - Енергетичні витрати працівників категорії III за різних температур повітря

Ен	-20 °С, Вт	-10 °С, Вт	0 °С, Вт	+10 °С, Вт	+20 °С, Вт
200	245,8	200,0	215,3	230,5	245,8
230	282,7	230,0	247,6	265,1	282,7
280	344,1	280,0	301,4	322,8	344,1
80	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
180	221,2	180,0	193,6	207,2	221,2
250	307,3	250,0	269,2	288,4	307,3
273	335,5	273,0	293,8	314,6	335,5
300	368,7	300,0	322,8	345,6	368,7
250	307,3	250,0	269,2	288,4	307,3

Аналіз результатів показує, що для всіх категорій фізичних робіт спостерігається єдина закономірність: зі зниженням температури навколишнього середовища енергетичні витрати працівників систематично зростають. Це пов'язано з активацією механізмів терморегуляції організму та необхідністю додаткового витрачання енергії на підтримання теплового балансу.

За температури +20°C для всіх категорій робіт фіксуються базові (нормативні) значення енерговитрат. У цих умовах вплив мікроклімату мінімальний, а організм працює переважно у режимі компенсації стандартного виробничого навантаження без додаткових теплових втрат.

При температурі +10°C починається поступове підвищення енергетичних витрат незалежно від категорії праці. Найменші зміни характерні для легких робіт

(Ia, Ib), тоді як для середніх і важких категорій (IIa, IIб та III) зростання більш помітне через поєднання фізичного навантаження та охолоджувального впливу середовища.

За температури 0°C у всіх категоріях відзначається чітке посилення енергетичних витрат. На цьому рівні мікроклімату організм працівника переходить у режим активної терморегуляції, що призводить до зростання загального фізіологічного навантаження та зменшення енергетичного резерву.

При температурі -5°C спостерігається суттєве збільшення енерговитрат, особливо у категоріях IIa, IIб та III. Для важких робіт цей ефект є найбільш вираженим, оскільки поєднання високого фізичного навантаження і холоду значно підсилює загальне енергоспоживання організму.

Найбільш критичні умови формуються при температурі -10°C, коли енергетичні витрати досягають максимальних значень у всіх категоріях. У цей період організм працює в умовах значного теплового дефіциту, що призводить до інтенсивної мобілізації енергетичних ресурсів. Найбільший приріст характерний для важких робіт (IIб, III), де сумарне навантаження є максимальним.

Таким чином, незалежно від категорії робіт, зниження температури повітря від +20°C до -10°C призводить до системного зростання енергетичних витрат. При цьому рівень фізичної важкості праці визначає амплітуду цього зростання: чим важча робота, тим сильніше проявляється вплив охолоджувального мікроклімату. Це необхідно враховувати при нормуванні умов праці та розробці заходів охорони праці в умовах гірничих підприємств Кривбасу.

3.3 Розробка системи пилового навантаження

Як було встановлено раніше, під час визначення пилового навантаження необхідно враховувати не лише концентрацію пилу в повітрі робочої зони, об'єм

легеневої вентиляції та тривалість контакту працівника з пиловим фактором, а й додаткові чинники, що суттєво впливають на умови праці в гірничій промисловості. До таких факторів належать вплив знижених температур на енергетичні витрати організму працівника, а також зміна вмісту дрібнодисперсного пилу в атмосфері кар'єрів і відкритих гірничих виробок [36].

Узагальнена формула розрахунку пилового навантаження має вигляд:

$$PN=C(t) \cdot Q(t) \cdot \tau$$

де:

PN - пилове навантаження на органи дихання працівника;

$C(t)$ - концентрація шкідливої речовини (пилу) у повітрі робочої зони за певної температури, мг/м³;

$Q(t)$ - об'єм легеневої вентиляції працівника, м³/год;

τ - тривалість робочої зміни або часу контакту з пилом, год.

Для визначення середньозмінної концентрації пилу доцільно враховувати сезонні зміни процесів пилоутворення протягом року. Дослідження українських науковців у сфері охорони праці та промислової екології, зокрема фахівців Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, показують, що температура навколишнього середовища безпосередньо впливає на інтенсивність утворення та поширення дрібнодисперсного пилу у відкритих гірничих виробках.

У холодний період року збільшується частка дрібнодисперсних пилових частинок, які є найбільш небезпечними для органів дихання. Це пов'язано з тепло- та масообмінними процесами на поверхні кар'єрів, зміною вологості породи та підвищенням здатності пилу тривалий час перебувати у завислому стані. Для врахування сезонної зміни концентрації пилу під час розрахунку пилового навантаження використовується коефіцієнт збільшення вмісту дрібнодисперсного пилу в повітрі протягом річного циклу.

Для визначення середньозмінної концентрації пилу доцільно враховувати сезонні зміни процесів пилоутворення протягом року. Дослідження українських науковців у сфері охорони праці та промислової екології, зокрема фахівців Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, показують, що температура навколишнього середовища безпосередньо впливає на інтенсивність утворення та поширення дрібнодисперсного пилу у відкритих гірничих виробках.

У холодний період року збільшується частка дрібнодисперсних пилових частинок, які є найбільш небезпечними для органів дихання. Це пов'язано з тепло- та масообмінними процесами на поверхні кар'єрів, зміною вологості породи та підвищенням здатності пилу тривалий час перебувати у завислому стані. Для врахування сезонної зміни концентрації пилу під час розрахунку пилового навантаження використовується коефіцієнт збільшення вмісту дрібнодисперсного пилу в повітрі протягом річного циклу (табл. 3.5)[37].

Таблиця 3.5 - Коефіцієнт збільшення вмісту дрібнодисперсного пилу

Місяць	Коефіцієнт збільшення
Січень	1,29
Лютий	1,26
Березень	1,23
Квітень	1,15
Травень	1,06
Червень	1,03
Липень	1,00
Серпень	1,03
Вересень	1,03
Жовтень	1,15
Листопад	1,29
Грудень	1,32

Зміна об'єму легеневої вентиляції залежно від енергетичних витрат при різних температурах повітря для робіт середньої важкості показана на рисунку 3.1. [33].

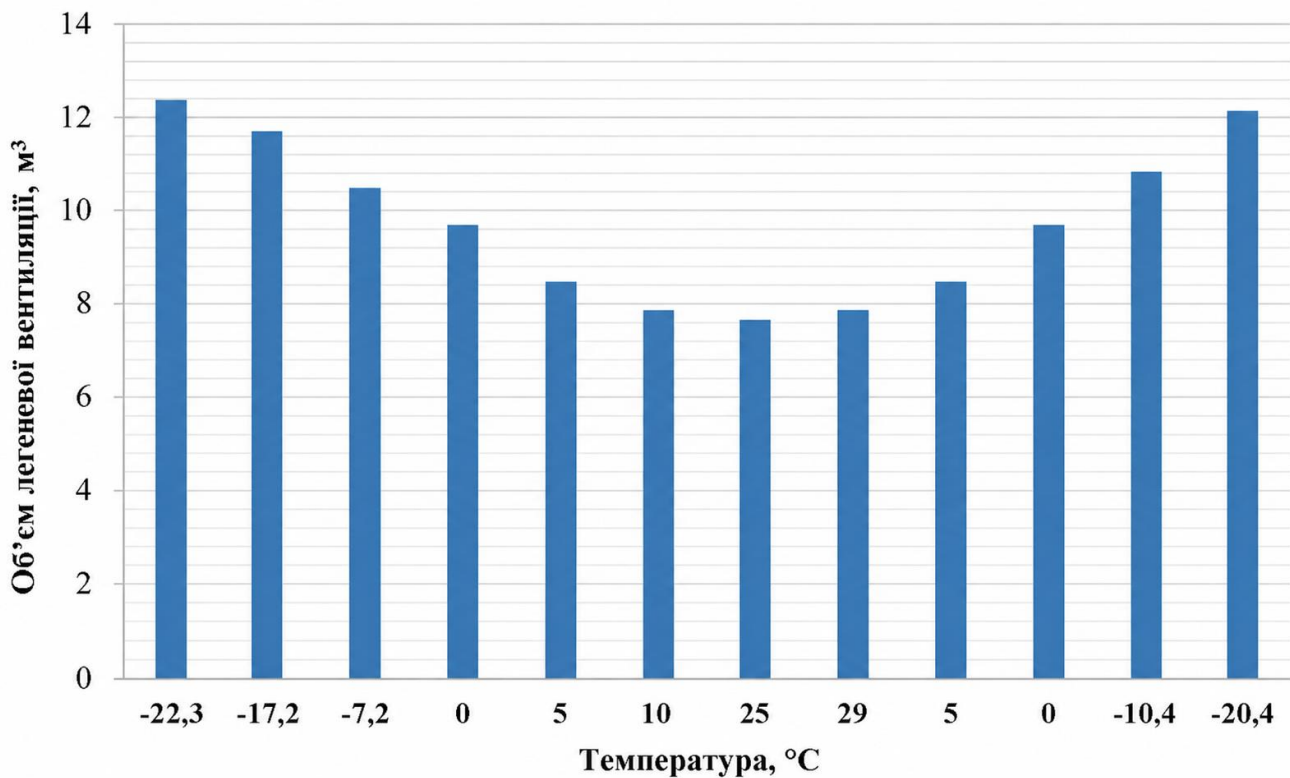


Рисунок 3.1 - Графік зміни об'єму легеневої вентиляції залежно від енергетичних витрат при різних температурах повітря для робіт середньої важкості

Параметр енергозатрат залежно від температури навколишнього повітря визначається за даними [39]:

— для легких робіт:

$$\text{Эрл}(t) = \text{Эрл}(t) \cdot (1,314 - 15 \cdot 10^{-3}t)$$

— для робіт середньої важкості:

$$\text{Эрс}(t) = \text{Эрс}(t) \cdot (1,19 - 4,9 \cdot 10^{-3}t)$$

— для важких робіт:

$$\text{Эрт}(t) = \text{Эрт}(t) \cdot (1,152 - 6,7 \cdot 10^{-3}t)$$

Тоді

формула для

розрахунку пилового навантаження має вигляд, адаптований до вимог гігієнічного нормування умов праці в Україні, методичні рекомендації МОЗ України щодо оцінки умов праці та професійних ризиків [40]:

$$ПН=Cc.c \cdot (V_{\text{дихл}} \cdot N_{\text{л}} + V_{\text{дихз}} \cdot N_{\text{з}}) \cdot K_{\text{пил}} \cdot N$$

де:

$Cc.c$ - фактична середньозмінна концентрація пилу в зоні дихання працівника, $\text{мг}/\text{м}^3$, встановлена за результатами виробничого контролю відповідно до чинних гігієнічних нормативів України;

$V_{\text{дихл}}$ - сумарний об'єм легеневої вентиляції у літній та зимовий періоди, м^3 , визначений з урахуванням категорії важкості праці згідно з гігієнічною класифікацією праці МОЗ України;

$K_{\text{пил}}$ - коефіцієнт підвищення вмісту дрібнодисперсної фракції пилу в повітрі робочої зони, визначений за результатами виробничого та санітарно-гігієнічного контролю умов праці;

N - кількість змін на рік, змін;

T - стаж роботи в умовах впливу аерозолів переважно фіброгенної дії, років, що використовується для оцінки кумулятивного пилового навантаження.

Отримана формула дозволяє виконувати оцінку кумулятивного пилового навантаження працівників гірничодобувних підприємств із урахуванням реальних умов виробничого середовища, сезонних змін параметрів повітря робочої зони та фізіологічної реакції організму працівника.

На відміну від спрощених підходів[40], запропонована методика базується на ризик-орієнтованому підході, який узгоджується з чинною системою гігієнічного нормування умов праці та оцінки професійних ризиків в Україні.

Для наочності розглянемо розрахунок пилового навантаження бурильника за один рік при пиловому навантаженні $Cc.c=60 \text{ мг}/\text{м}^3$ та кількості змін $N=281$

За нормативною методикою[40]:

$$ПН = C \times N \times Q = 60 \times 281 \times 7 = 118020 \text{ мг (}$$

За запропонованим підходом розрахунок виконується на основі «фотографії робочого дня», що передбачає детальний аналіз технологічних операцій протягом зміни та відповідних енергетичних витрат, визначених згідно з гігієнічною класифікацією праці в Україні.

У таблиці 3.6 наведено структуру робочого дня бурильника, яка відображає змінний характер фізичного навантаження — від легких до важких операцій, що безпосередньо впливає на величину легеневої вентиляції та сумарне пилове навантаження [41].

Таблиця 3.6 - Розрахунок пилового навантаження за розробленою методикою та нормативним підходом для умов Кривбасу

Температура повітря, °С	ПН(t)/ПНнорм	ПН(t), мг	ПНнорм, мг
+20	2,19	21449	9835
+10	2,48	24346	9835
0	2,63	25835	9835
-10	2,78	23767	9835

Розрахунок пилового навантаження виконано для умов відкритих гірничих робіт Криворізького залізорудного басейну (Кривбас), який характеризується високою інтенсивністю пиловиділення при буропідривних та бурових роботах, а також значною сезонною варіацією температури повітря.

Для порівняння використано:

- розроблений метод оцінки пилового навантаження з урахуванням температурної залежності легеневої вентиляції;
- нормативний підхід, заснований на нормативних вимогах .

Встановлено, що зі зниженням температури повітря характерним для зимового періоду Кривбасу (до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) спостерігається зростання пилового навантаження до 2,78 рази відносно нормативного рівня, що пояснюється збільшенням інтенсивності легеневої вентиляції працівників при виконанні фізично важких бурових операцій у холодний період.

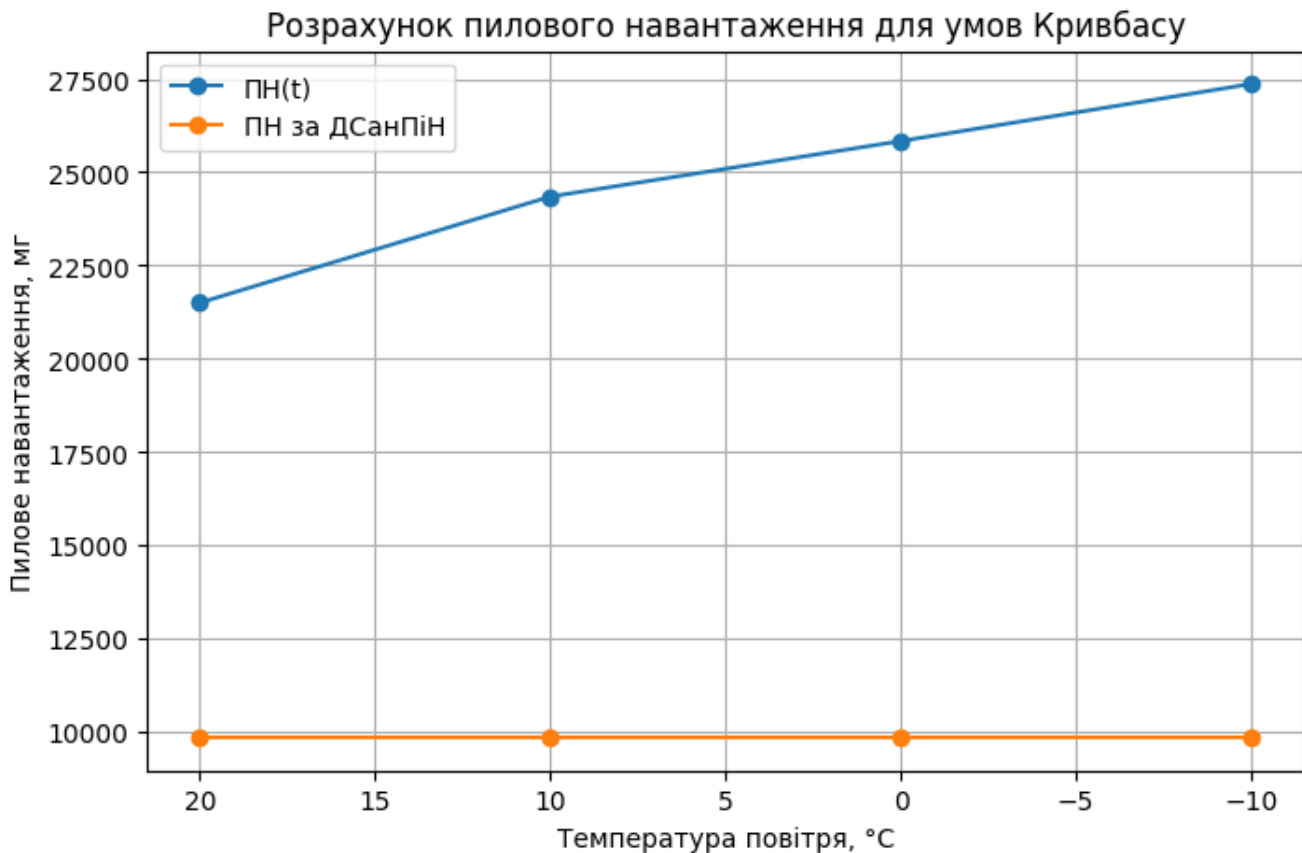


Рисунок 3.2 - Порівняння пилового навантаження бурильника (категорія III) за розробленим методом (ПН(t)) та нормативним підходом ДСанПіН протягом року (умови Кривбасу)

Порівняємо пилове навантаження бурильника (категорія III) в умовах Криворізького залізрудного басейну (Кривбас) за розробленим методом із розрахунком за нормативним підходом по місяцях (рисунок 3.2).

Розрахунки за нормативним підходом не враховують сезонні зміни температури повітря та відповідні коливання інтенсивності легеневої вентиляції і концентрації пилу протягом року, що призводить до спрощеної оцінки пилового навантаження працівників гірничих підприємств.

З рисунка 3.2 випливає, що реальне пилове навантаження за розробленим методом перевищує нормативні значення, отримані за підходом ДСанПіН, у 1,5-2 рази, що свідчить про недооцінку фактичного впливу пилу при використанні стандартних методик розрахунку без урахування температурного фактора та змін умов праці протягом року.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3

Розрахунки за ДСанПіН 3.3.6.042-99 не враховують сезонні зміни температури повітря та річні коливання концентрації пилу, що призводить до недооцінювання фактичного пилового навантаження на працівників.

Відповідно до підходів, узгоджених із чинними гігієнічними нормативами ДСанПіН України щодо параметрів виробничого середовища, виконано перерахунок пилового навантаження з урахуванням умов Кривбасу (Криворізького залізорудного басейну), для якого характерні інтенсивне пиловиділення при відкритих гірничих роботах, значні сезонні коливання температури, посушливі періоди та підвищена вітрова активність.

За результатами розрахунків для регіонів відкритого видобутку корисних копалин в умовах Кривбасу встановлено, що пилове навантаження, визначене за розробленою методикою з урахуванням метеорологічних факторів і сезонної мінливості запиленості, перевищує значення, отримані за ДСанПіН, у середньому у 1,5-2 рази.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ

4.1 Обґрунтування економічної ефективності системи оцінювання пилового навантаження на працівників промислових підприємств

В умовах сучасної промисловості України, зокрема гірничодобувного комплексу Криворізького басейну, проблема запиленості повітря робочої зони залишається однією з основних у сфері охорони праці. Високі концентрації дрібнодисперсного пилу спричиняють розвиток професійних захворювань органів дихання та значні економічні втрати для підприємств і держави. Тому впровадження системи оцінювання пилового навантаження є важливим санітарно-гігієнічним та економічно обґрунтованим заходом.

Система оцінювання пилового навантаження передбачає контроль концентрацій пилу з урахуванням дисперсного складу (PM_{10} , $PM_{2,5}$), аналіз умов праці та визначення рівня впливу на працівників. Використання сучасних приладів моніторингу й автоматизованих систем дає змогу оперативно виявляти перевищення нормативів і впроваджувати ефективні заходи пилопригнічення.

Економічна ефективність такої системи формується за рахунок кількох чинників. Насамперед це зниження професійної захворюваності. Пневмоконіози та хронічні бронхіти потребують тривалого лікування й часто призводять до втрати працездатності, що супроводжується значними витратами на медичне обслуговування та компенсації. Навіть зменшення захворюваності на 10-20 % забезпечує суттєву економію коштів.

Другим чинником є підвищення продуктивності праці. Поліпшення умов праці та зниження запиленості позитивно впливають на самопочуття працівників, зменшують кількість пропусків роботи та плинність кадрів. Навіть приріст

продуктивності на 2-5 % у масштабах великого підприємства забезпечує значний економічний ефект.

Важливим аспектом є також оптимізація витрат на пилопригнічення. Система моніторингу дозволяє локалізувати джерела пиловиділення та застосовувати цільові технічні рішення — вентиляцію, аспірацію, зрошення, що забезпечує раціональніше використання ресурсів. Крім того, своєчасний контроль запобігає штрафним санкціям за перевищення гранично допустимих концентрацій пилу та знижує ризики призупинення виробництва.

Соціально-економічний ефект проявляється у покращенні умов праці, зниженні професійної захворюваності та підвищенні якості життя працівників. Це позитивно впливає на імідж підприємства та його конкурентоспроможність.

Приклад розрахунку економічного ефекту для умов Кривбасу показує високу ефективність впровадження системи. За кількості працівників 500 осіб зниження витрат на захворюваність становить:

$$\Delta C_{\text{захв}} = 500 \cdot (12000 - 8000) = 2\,000\,000 \text{ грн}$$

Ефект від підвищення продуктивності на 3 %:

$$\Delta C_{\text{прод}} = 30\,000 \cdot 200 = 6\,000\,000 \text{ грн}$$

Зменшення штрафів становить 300 000 грн, а загальний економічний ефект дорівнює:

$$E = 6\,800\,000 \text{ грн/рік}$$

Термін окупності системи:

$$T = 1\,500\,000 / 6\,800\,000 \approx 0.22 \text{ року} - \text{ тобто близько } 2,6 \text{ місяця.}$$

Практичні розрахунки для підприємств Криворізького басейну свідчать, що термін окупності таких систем зазвичай не перевищує одного року.

Отже, система оцінювання пилового навантаження є ефективним інструментом управління виробничими ризиками, який забезпечує збереження здоров'я працівників та покращення економічних показників підприємства. Її впровадження відповідає сучасним вимогам охорони праці та сприяє гармонізації з європейськими стандартами [12].

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4

Отримані результати свідчать, що впровадження системи оцінювання пилового навантаження на підприємствах Криворізького басейну є високоефективним з економічної точки зору. Річний економічний ефект становить близько 6,8 млн грн, а термін окупності не перевищує 3 місяців, що підтверджує доцільність інвестування у заходи з охорони праці та контролю пилового фактору.

ВИСНОВКИ

1. Несприятливі пилові умови є типовою особливістю відкритих гірничих робіт у Криворізькому басейні та формуються на всіх етапах виробничого циклу, що зумовлює високий рівень запиленості повітря робочої зони і значні ризики розвитку професійних захворювань органів дихання, зокрема пневмоконіозів і хронічних бронхолегеневих патологій. Встановлено, що інтенсивність впливу пилу значною мірою визначається його дисперсним складом, який впливає на тривалість перебування частинок у повітрі та ефективність їх осідання, що необхідно враховувати при виборі заходів пилопригнічення.

2. Система протидії запиленості включає попередження утворення пилу, його пригнічення та уловлювання із застосуванням сухих, мокрих і електричних методів, а також гідрознепилення, ПАР, біогенних і конденсаційних технологій, однак навіть за їх використання не завжди досягаються гігієнічні нормативи, що обумовлює необхідність застосування засобів індивідуального захисту органів дихання. Аналіз структури професійної захворюваності підтверджує домінування пневмоконіозів ($\approx 24,4\%$), хронічних обструктивних бронхітів ($\approx 21,6\%$) та пилових бронхітів ($\approx 16,8\%$), що свідчить про значний медико-санітарний вплив пилового фактора.

3. Порівняльний аналіз нормативного регулювання показує, що в Україні оцінюється загальна масова концентрація пилу без урахування фракційного складу, тоді як у міжнародній практиці застосовуються показники PM_{10} і $PM_{2,5}$, що забезпечує більш точну оцінку ризиків для здоров'я. Встановлено також, що чинні розрахунки за ДСанПіН 3.3.6.042-99 не враховують сезонні та метеорологічні фактори, унаслідок чого фактичне пилове навантаження в умовах Кривбасу в середньому перевищує розрахункові значення у 1,5-2 рази, що потребує удосконалення методичних підходів до його оцінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. International Labour Organization. Global occupational safety and health statistics. Geneva : ILO, 2023. URL: <https://www.ilo.org> (дата звернення: 15.03.2026).
2. World Health Organization; International Labour Organization. WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. Geneva : WHO, 2021. 120 p.
3. Wang X., Lin S., Yao Z. Incidence and influencing factors of occupational pneumoconiosis: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023. Vol. 20. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9980323/> (дата звернення: 15.03.2026).
4. ДСТУ ISO 4225:2003. Якість повітря. Загальні положення.
5. ДСТУ 12.1.005-88. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.
6. Кочнєв В. П., Бондаренко В. І. Пилоутворення та засоби пилопригнічення при відкритих гірничих роботах. Дніпро : НГУ, 2018.
7. Нестеренко О. В. Підвищення ефективності знепилювання автомобільних доріг у кар'єрах : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кривий Ріг, 2008. 20 с.
8. Державна служба України з питань праці. Стан виробничого травматизму та професійної захворюваності в Україні. Київ, 2021.
9. Бондаренко В. І., Кочнєв В. П. Аерологія гірничих підприємств. Дніпро : НГУ, 2017.
10. Міністерство охорони здоров'я України. Професійні захворювання органів дихання: класифікація, діагностика та профілактика. Київ, 2015.
11. World Health Organization. Occupational health: airborne dust and pneumoconiosis. Geneva, 2020.

12. World Health Organization. Air quality guidelines for particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀). Geneva, 2021.
13. Straus V. Промислове очищення газів. Москва : Хімія, 1981. 616 с.
14. World Health Organization. Air quality guidelines. Geneva, 2021.
15. Директива 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 21 травня 2008 року про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи.
16. Dnipro Lignite Coal Basin. Encyclopedia of Ukraine. 1984. URL: <https://www.encyclopediaofukraine.com/display.asp?linkpath=pages%5CD%5CN%5CDniproLigniteCoalBasin.htm> (дата звернення: 04.05.2026).
17. Datsenko L. et al. Pologivskiy kaolin deposit: geology, mineral and chemical composition, technological properties. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. № 2(97). С. 74–84. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.97.10>
18. Запорожець О. І., Синило К. В. Охорона атмосферного повітря від забруднення пилом. Київ : Центр учбової літератури, 2016.
19. Seinfeld J. H., Pandis S. N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. New York : Wiley, 2016.
20. Hinds W. C. Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. New York : Wiley, 1999.
21. ISO 9276-1:1998. Representation of results of particle size analysis. Geneva : ISO, 1998.
22. ДСТУ ISO 3310-1:2017. Сита контрольні. Технічні вимоги та випробування. Київ : УкрНДНЦ, 2017.
23. Фукс Н. А. Механіка аерозолів. Москва : АН СРСР, 1955. 352 с.
24. ДСТУ ISO 4225:2001. Якість повітря. Загальні терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 2003.

25. Юрченко А. А. Підвищення екологічної безпеки масових вибухів в залізорудних кар'єрах. Дніпро : НГУ, 2012.
26. Кочмар І., Карабін В. Дослідження міграції важких металів у відвалах гірничих підприємств. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2022.
27. Бабій К. В. Геомеханічні основи технології передзбагачення руди в глибоких залізорудних кар'єрах. Дніпро, 2019.
28. Кочмар І., Карабін В. Дослідження впливу пилу на довкілля гірничих підприємств. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2022.
29. Ільченко В. Й. Пилопригнічення на кар'єрах будівельних матеріалів із застосуванням поверхнево-активних речовин. Кривий Ріг : КНУ, 2020.
30. Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. URL: <https://igtm.dp.ua>
31. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0464-99> (дата звернення: 06.05.2026).
32. МОЗ України. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища : наказ № 248 від 08.04.2014. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14> (дата звернення: 11.05.2026).
33. Organiscak J., Cecala A., Noll J. Field Assessment of Enclosed Cab Filtration System Performance. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2013.
34. Зайденварг В. Є. Структурні перетворення у вугільній промисловості. *Енергетична політика*. 1999. № 3. С. 25–31.
35. Волошин О. І., Колосов В. О., Бабець Є. К. Пиловий режим кар'єрів та методи зниження запиленості повітря робочої зони. Дніпро : ІГТМ НАН України, 2021. 214 с.

36. Галкин А. Ф. et al. Efficiency of dust suppression in open pit mines during winter period. *SGEM 2017 Conference Proceedings*. 2017. DOI: 10.5593/sgem2017/13/S03.038.
37. ДСанПіН 3.3.6.042-99. Гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. Київ : МОЗ України, 1999.
38. АТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат». Офіційний сайт. URL: <https://www.ugok.com.ua/> (дата звернення: 15.05.2026).
39. Графік зміни об'єму легеневої вентиляції залежно від енергетичних витрат при різних температурах повітря для робіт середньої важкості.
40. Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. Напрями досліджень умов праці та пилового навантаження в гірничій промисловості. URL: <https://igtm.dp.ua> (дата звернення: 11.05.2026).
41. Галкин А. Ф., Дормидонтов А. В., Обожина Е. П. Efficiency of dust suppression in operation of open pit mines during winter period. *SGEM 2017 Conference Proceedings*, 2017. DOI: 10.5593/sgem2017/13/S03.038.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1

Основні джерела забруднення атмосфери пилом на гірничих підприємствах

Основні технологічні процеси і об'єкти	Джерела забруднення
Підготовка гірських порід до виймання	1. Пил під час буріння свердловин і шурів 2. Пил під час проведення вибухових робіт
Виймально-навантажувальні роботи	1. Пил під час видобування та завантаження гірської маси у транспортні засоби та розвантаження у відвал різними видобувними машинами 2. Пил під час видобування гірської маси екскаваторними та екскаваторно-транспортними машинами з двигуном внутрішнього згоряння (екскаватори з дизельним приводом, навантажувачі скрепери, бульдозери)
Транспортування кар'єрних вантажів	1. Пил на кар'єрних автодорогах 2. Видування пилу з транспортних суден під час перевезення корисних копалин, пустої породи та відходів збагачення 3. Пил на пунктах перевантаження
Утворення відвалів та складування пустої породи, відходів збагачення та корисних копалин	1. Пил під час укладання гірничої маси в відвали та склади 2. Пилення оголених поверхонь
Кар'єрні виїмки	1. Здування пилу з поверхонь відвалів та майданчиків
Об'єкти проммайданчиків-дробильно-сортувальні, агломераційні та збагачувальні фабрики; котельні установки; бази виробничих машин та автотранспортної техніки	1. Пил під час розвантаження, дроблення та сортування корисних копалин 2. Пил під час обпалення в процесі збагачення корисних копалин 3. Пил під час роботи котельних установок 4. Пил під час експлуатації без виробничої техніки

ДОДАТОК 2

Джерела надходження пилу в кар'єр і забрудненості на робочих місцях

Технологічні операції	Інтенсивність вносу пилу, мг/с	Концентрація пилу на робочому місці, мг/м ³
Буравлення шпар	54-60200(17-390)	1,4-9,0
Підривні роботи (викид), мг/м ³	3100	
Виймально-навантажувальні роботи екскаваторами циклічної дії	100-800(30-200)	Автомобіль - 6,0-104,5 Тепловоз - 4,5-48,7
Транспортування гірської маси автомобілями БілАЗ по дорогах: - щебеним - ґрунтовим - бетонним	600-12000(200-300) 4700-78000 5100-5400	6,0-18,0 2,3-24,2 2,5-7,6
Транспортування гірської маси залізничним транспортом		0,7-10,0
Перевантаження гірської маси	260-380	0,8-32,0
Самохідно-дробильна установка	460-11000(100-1800)	1,3-60,0
Складування гірської маси	47-11200	1,2-18,6
Відвалоутворення	47-12200	1,7-27,7
Пиління поверхонь відвалів	17062-495504	0,5-3,8

ДОДАТОК 3

Класифікація рівнів забруднення атмосферного повітря

Рівень	Характеристика впливу
1 рівень (гранично допустимий)	Не викликає негативних змін в організмі
2 рівень (помірний вплив)	Подразнення, погіршення видимості
3 рівень (небезпечний вплив)	Порушення функцій, хронічні захворювання
4 рівень (критичний вплив)	Гострі захворювання або летальні наслідки

ДОДАТОК 4

Порівняння нормативів якості атмосферного повітря за вмістом зважених частинок (Україна, ЄС, ВООЗ)

Забруднююча речовина	Період усереднення	ЄС, мкг/м ³	ВООЗ, мкг/м ³	Україна, мкг/м ³
PM10 (≤10 мкм)	24 години	50	50	–
PM10 (≤10 мкм)	Рік	40	20	–
PM2,5 (≤2,5 мкм)	24 години	–	25	–
PM2,5 (≤2,5 мкм)	Рік	25	10	–
Зважені речовини	24 години	–	–	500
Зважені речовини	Рік	–	–	1500

ДОДАТОК 5

Класифікація джерел пилоутворення в умовах відкритого видобутку залізної руди

Тип джерела	Характеристика	Приклади в залізорудному кар'єрі	Особливості пилоутворення	Рекомендовані заходи
Локальні (точкові)	Джерела з чітко визначеним місцем утворення пилу	Бурові свердловини, місця вибухових робіт, дробарки, перевантажувальні вузли, конвеєри	Висока концентрація пилу в обмеженій зоні, короткочасні або циклічні викиди	Локальне зрошення, аспірація, укриття обладнання, пиловловлювачі
Плошинні (розосереджені)	Джерела, що охоплюють значні площі та не мають чіткої локалізації	Кар'єрні дороги, відвали порід, склади руди, робочі майданчики, відкриті поверхні	Низька або середня концентрація, але значні обсяги пилу, тривале пиління, залежність від вітру	Зрошення доріг, застосування реагентів, укріплення поверхні, обмеження швидкості транспорту

Вибір апаратів за дисперсністю пилу

Розмір часточок, мкм	Способи очищення	Апарати
40-1000	Сухий	Пилоосаджувальні камери
20-1000	Сухий	Циклони діаметром 1-2м
5-1000	Сухий	Циклони діаметром 1м
20-100	Мокрий	Скрубери
0,9-100	Сухий	Тканинні фільтри
0,05-100	Сухий	Волоконні фільтри
0,01-100	Електричний	Електрофільтри

Кліматичні умови Кривбасу протягом року та їх характеристика

Пора року	Температурний діапазон повітря	Характеристика умов праці	Вплив на працівників гірничих підприємств
Зима (грудень–лютий)	-15...-20 °С (інколи до -25 °С)	Низькі температури, вітрове навантаження, складні умови в кар'єрах і на відвалах	Підвищений ризик переохолодження, зростання тепловтрат організму, зниження працездатності
Весна (березень–травень)	-5...+20 °С	Нестабільні температури, різкі перепади погоди	Підвищене навантаження на терморегуляцію організму, втомлюваність
Літо (червень–серпень)	+25...+40 °С	Високі температури, інтенсивне сонячне випромінювання, запиленість	Ризик перегрівання, зневоднення, тепловий стрес
Осінь (вересень–листопад)	-5...+20 °С	Поступове зниження температури, підвищена вологість	Коливання теплового балансу організму, зниження витривалості
Рік у цілому	Середньорічна +9...+10 °С	Різко континентальний клімат, значні сезонні коливання	Постійне термічне навантаження на організм працівників

Розрахунок пилового навантаження здійснюється за формулою:

$$PN = C_{п.к} \cdot V_{л} \cdot N \cdot T$$

де:

PN - пилове навантаження на органи дихання працівника;

$C_{п.к}$ середньозмінна концентрація пилу в повітрі робочої зони, мг/м³;

$V_{л}$ - об'єм легеневої вентиляції залежно від важкості праці, м³/зміну;

N - кількість робочих змін за рік в умовах впливу пилу;

T - стаж роботи в умовах запиленості, років.

Класифікація фізичних робіт за рівнем енерговитрат (з прикладами для гірничо-металургійного комплексу)

Категорія робіт	Рівень енерговитрат	Характер виконання робіт	Приклади професій у гірничо-металургійному комплексі
Ia	до 139 Вт (до 120 ккал/год)	Роботи переважно сидячи, мінімальне фізичне навантаження	Оператори диспетчерських пунктів, інженери ПТО, лаборанти хімічного аналізу руди
Iб	140–174 Вт (121–150 ккал/год)	Роботи сидячи або з незначною руховою активністю, помірне напруження	Машиністи дробильних установок (контрольні пости), оператори збагачувальних фабрик, контролери якості продукції
IIa	175–232 Вт (151–200 ккал/год)	Постійне переміщення, ходьба, перенесення невеликих вантажів	Машиністи конвеєрів, слюсарі-ремонтники гірничого обладнання, працівники ремонтних бригад кар'єрів
IIб	233–290 Вт (201–250 ккал/год)	Інтенсивна фізична активність, переміщення середніх вантажів	Машиністи бурових установок, електрослюсарі підземних і кар'єрних робіт, гірничі робітники очисних та допоміжних процесів
III	понад 290 Вт (понад 250 ккал/год)	Важка фізична праця з постійними значними навантаженнями	Прохідники, забійники, бурильники кар'єрів, вантажники руди та породи, гірники очисних забоїв

ДОДАТОК 10

Фотографія робочого дня бурильника (видобуток залізної руди)

№ п/п	Найменування операції	Поточний час	Тривалість, хв	Енергія, Вт	Важкість робіт
1	Отримання наряду-завдання та інструктаж з ТБ	8:00–8:10	10	180	л
2	Виїзд до бурової ділянки кар'єру (рудник)	8:10–8:40	30	180	л
3	Підготовка бурового майданчика (очистка, розмітка)	8:40–9:00	20	280	с
4	Підготовка та перевірка бурової установки	9:00–9:16	16	330	т
5	Буріння вибухових свердловин у залізорудному масиві	9:16–9:44	28	330	т
6	Продування та очищення свердловин від бурового пилу	9:44–9:58	14	280	с
7	Буріння (основний цикл)	9:58–11:31	93	280	с
8	Контроль параметрів свердловин та проміжна промивка/продування	11:31–11:51	20	280	с
9	Нарощування бурового ставу (штанг)	11:51–12:01	10	330	т
10	Регламентований відпочинок	12:01–12:31	29	180	л
11	Буріння наступного інтервалу свердловин	12:31–14:10	100	280	с
12	Завершальна очистка свердловин перед закінченням зміни	14:10–14:35	25	330	т
13	Демонтаж/підйом бурового інструменту	14:35–14:45	10	330	т
14	Підготовка та завантаження обладнання для переміщення	14:45–15:11	26	330	т
15	Переміщення бурової установки на наступну ділянку кар'єру	15:11–16:00	49	280	с

Примітка:

л — легка робота; с — робота середньої важкості; т — важка робота.

