

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Кафедра геології та екології

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
за ступенем вищої освіти «Магістр»
зі спеціальності 101 Екологія

Тема роботи
«Дослідження та розробка заходів по зменшенню пилових викидів в
умовах дробарного цеху №1 рудозбагачувальної фабрики ПрАТ
«АрселорМіттал Кривий Ріг»»

Виконала
магістрантка групи ЕО-24м

Наталя ЛЕГЕЗА

Науковий керівник

Анатолій ГАЦЬКИЙ

Нормоконтролер

Світлана ПАНОВА

В. о. завідувача кафедри

Світлана ПАНОВА

Кривий Ріг
2025

Криворізький національний університет
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра геології та екології
Другий (магістерський) рівень вищої освіти
Спеціальність: 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ
В. о. завідувача кафедри _____ Світлана ПАНОВА
« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну (магістерську) роботу

1. Тема: «Дослідження та розробка заходів по зменшенню пилових викидів в умовах дробарного цеху №1 рудозбагачувальної фабрики ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»». Затверджена наказом по КНУ № ____ від « ____ » _____ 20 ____ р.

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи: « ____ » _____ 20 ____ р.

3. Вихідні дані по кваліфікаційній магістерській роботі:
– технологічна схема роботи дробарного цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»;
– дані інструментальних вимірювань концентрацій пилу на основних ділянках технологічного процесу;
– інформація про системи пилоподавлення, що діють на підприємстві;
– вимоги природоохоронного законодавства України щодо гранично допустимих викидів пилу.

4. Зміст пояснювальної записки:
– аналіз сучасного стану пилових викидів на гірничо-металургійних підприємствах;
– дослідження технологічних процесів дроблення та основних джерел утворення пилу;
– обґрунтування та розробка комплексу інженерно-технічних заходів зі зниження пилових викидів;
– оцінка економічної, екологічної ефективності та ризиків впровадження запропонованих рішень

5. Перелік графічного матеріалу:

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Гацький А. К.	22.01.25	03.12.2025
2	Гацький А. К.	22.01.25	03.12.2025
3	Гацький А. К.	22.01.25	03.12.2025
4	Гацький А. К.	22.01.25	03.12.2025

7. Календарний план:

Етапи роботи	Термін виконання
Збір вихідних даних, опрацювання літератури	28.03.2025
Аналіз технологічних процесів та джерел пилових викидів	30.05.2025
Розробка інженерно-технічних заходів по зменшенню пилу	28.07.2025
Розрахунок ефективності та оформлення висновків	26.09.2025
Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	28.11.2025

Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

Завдання видав
науковий керівник

Анатолій ГАЦЬКИЙ

Завдання отримав (ла)
магістрант (ка)

Наталя ЛЕГЕЗА

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна (магістерська) робота: 81 с., 14 рис., 22 табл., 55 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – дробарний цех №1 рудозбагачувальної фабрики ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Предмет дослідження – процеси утворення пилу та інженерно-технічні заходи зі зменшення пилових викидів у технологічних ланках дроблення та транспортування руди.

У роботі розглянуто сучасний стан проблеми пилових викидів у гірничо-збагачувальному виробництві та особливості їх формування в умовах дробарних цехів. Дано характеристику технологічної схеми роботи дробарного цеху №1, визначені основні джерела пилоутворення під час дроблення, пересипання та транспортування магнетитових кварцитів. Проведено аналіз концентрацій пилу за результатами інструментальних вимірювань та оцінено їхній вплив на санітарно-гігієнічний стан робочих місць і навколишнє середовище.

У роботі обґрунтовано та розроблено комплекс заходів зі зменшення пилових викидів, що включає модернізацію систем аспірації, удосконалення укриттів пильних вузлів, застосування вискоєфективних пилоподавлювальних установок, оптимізацію режимів перевантаження гірничої маси та впровадження систем автоматизованого екологічного контролю. Проведено техніко-економічну та екологічну оцінку запропонованих рішень, що підтвердила їхню ефективність і доцільність впровадження у виробничих умовах.

Зроблено висновок про можливість значного зниження рівня пилових викидів та покращення умов праці за рахунок застосування комбінованих інженерно-технічних заходів та оптимізації технологічних процесів дроблення і транспортування руди.

Кваліфікаційна (магістерська) робота виконана на замовлення виробничих підрозділів ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Одержані результати можуть бути впроваджені в дробарному цеху №1 та використані на інших підприємствах гірничо-металургійного комплексу.

Ключові слова: пилові викиди, дробарний цех, аспірація, пилоутворення, пилоподавлення, екологічна безпека, магнетитові кварцити.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Розділ 1. Аналіз стану забруднення атмосферного повітря в умовах ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».....	8
1.1. Сучасний стан проблеми пилових викидів в умовах дробарних цехів гірничо-металургійних підприємств.....	8
1.2. Характеристика дробарного цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».....	13
1.3. Нормативна база контролю пилових викидів в Україні.....	15
Розділ 2. Дослідження джерел утворення пилу при роботі дробарних цехів.....	24
2.1. Аналіз технологічного процесу дроблення сировини.....	24
2.2. Аналіз основних джерел пилових викидів.....	27
2.3. Оцінка впливу пилу на екологічні та економічні показники ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».....	32
Розділ 3. Розробка заходів по зменшенню пилових викидів в умовах дробарного цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».....	40
3.1. Розробка комплексного плану заходів зі зменшенням виділення та утворення пилу.....	42
3.2. Розробка заходів пилоподавлення при перевантаженні гірничої маси з конвеєра на конвеєр.....	56
3.3. Розробка заходів боротьби з пилом при роботі грохотів.....	58
3.4. Розробка заходів по знипленню прийомних бункерів.....	59
Розділ 4. Оцінка ефективності запропонованих заходів.....	62
4.1. Економічна ефективність запропонованих рішень.....	62
4.2. Екологічні переваги впровадження заходів.....	64
4.3. Аналіз ризиків та можливостей реалізації проекту.....	66
Висновки.....	69
Список використаних джерел.....	71
ДОДАТОК А.....	75
ДОДАТОК Б.....	76

ВСТУП

Зростання обсягів виробничої діяльності гірничо-металургійних підприємств супроводжується посиленням негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема через збільшення пилових викидів, що призводить до забруднення атмосферного повітря, погіршення умов праці та зниження екологічної безпеки регіонів.

Умови дробарних цехів, як одних із основних джерел пилу на рудозбагачувальних фабриках, характеризуються інтенсивним пилоутворенням внаслідок технологічних процесів дроблення, транспортування та пересипання сировини. Незважаючи на застосування існуючих систем аспірації, ефективність контролю пилових викидів залишається недостатньою, що обумовлює необхідність проведення досліджень та розробки нових заходів для їх зменшення. Особливо актуальним є це завдання для дробарного цеху №1 рудозбагачувальної фабрики ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», що є одним із провідних підприємств металургійної галузі України.

Метою даної роботи є дослідження технологічних особливостей утворення пилу у дробарному цеху №1 та розробка ефективних комплексних заходів зі зменшення пилових викидів, що сприятимуть підвищенню екологічної безпеки виробництва і поліпшенню умов праці персоналу.

Для досягнення поставленої мети у роботі поставлено такі **завдання**:

- провести аналіз сучасного стану проблеми пилових викидів у дробарних цехах гірничо-металургійних підприємств;
- охарактеризувати технологічний процес дроблення та визначити основні джерела пилових викидів у дробарному цеху №1;
- оцінити вплив пилу на екологічні та економічні показники підприємства;
- розробити комплексний план заходів зі зменшення утворення та виділення пилу з урахуванням технічних, технологічних і організаційних аспектів;
- оцінити ефективність запропонованих заходів з позиції екології та економіки.

Об'єктом дослідження є дробарний цех №1 рудозбагачувальної фабрики ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Предмет дослідження – процеси утворення пилу та методи пилеподавлення в умовах виробництва.

Методи дослідження включають аналіз технологічної документації, визначення концентрацій пилу, математичне моделювання процесів пилоутворення, а також розробку і техніко-економічну оцінку заходів зі зменшення пилових викидів.

Теоретичне значення роботи полягає у системному підході до вивчення джерел пилових викидів у дробарних цехах, що дозволяє розширити

наукові уявлення про механізми пилоутворення та ефективність різних методів очищення повітря в умовах гірничо-металургійного виробництва.

Наукова новизна дослідження полягає у розробці комплексного плану заходів, адаптованого до специфіки дробарного цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», що включає інноваційні технічні рішення, модернізацію існуючих систем аспірації, впровадження автоматизованого моніторингу та організаційно-технічні заходи, які в сукупності забезпечують значне зниження пилових викидів і покращення екологічного стану підприємства.

Отримані результати мають практичну цінність для підвищення екологічної безпеки виробництва, оптимізації витрат на охорону навколишнього середовища та поліпшення умов праці, що сприятиме сталому розвитку ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і регіону в цілому.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УМОВАХ ПРАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»

1.1. Сучасний стан проблеми пилових викидів в умовах дробарних цехів гірничо-металургійних підприємств

Забруднення атмосферного повітря – це наявність у ньому крупнодисперсних аерозолів, тобто зважених рідких і твердих частинок, а також газів, що не є постійними складовими повітря [19, с. 103]. Атмосфера завжди містить певну кількість домішок, наявність яких зумовлена впливом природних та антропогенних джерел.

За масштабами поширення розрізняють місцеве (підвищений вміст забруднюючих речовин на невеликих територіях – місто, промисловий район, сільськогосподарська зона), регіональне (сфера негативного впливу – значні простори, але не вся планета) та глобальне забруднення атмосфери (зміни стану всієї атмосфери) [8, с. 3].

Всі джерела забруднення атмосферного повітря передусім поділяють на природні та антропогенні. Рівень забруднення атмосфери природними джерелами є фоновим і несуттєво змінюється з плином часу. На сьогоднішній день забруднення атмосферного повітря переважно зумовлене людською діяльністю, що пов'язана з розвитком промисловості, будівництва і транспорту. Антропогенні джерела забруднення об'єднують в кілька груп за певними критеріями. Є.М. Кіптенко поділяє всі антропогенні викиди на організовані та неорганізовані. До організованих належать викиди, які надходять із труб промислових підприємств, що є спеціально направленими, організованими. Особливістю цих викидів є те, що перш ніж потрапити в трубу, вони проходять процес очищення, під час якого частина шкідливих речовин уловлюється та поглинається. З вікон, дверей, вентиляційних отворів виробничих приміщень в атмосферу надходять неорганізовані викиди [21, с. 289].

За висотою викиди поділяються на високі та низькі. Високі, як правило, здійснюються через труби, і відповідно, є організованими. До низьких належать викиди з труб невеликих котелень, труб індивідуального опалення, автомобільні викиди. Викиди від високих джерел, перш ніж досягнути приземних шарів, розбавляються у великому об'ємі повітря і тому, зазвичай, вони не створюють високого забруднення. Особливості розсіяння цих домішок досліджено в роботі С.В. Зубик [19].

Антропогенні джерела забруднення атмосфери поділяють на стаціонарні та пересувні. До стаціонарних належать: промислові підприємства, теплові електростанції, котельні та опалювальні установки, сільське господарство, тощо. Стаціонарні джерела забруднення поділяють на високотемпературні та низькотемпературні [21, с. 290]. У високотемпературних забруднюючі речовини утворюються і вивільняються в процесі згорання палива, а також у результаті хімічних реакцій. Серед низькотемпературних джерел основними

можна назвати хімічну промисловість, витік газів та сільське господарство.

Індустрія кольорової металургії, зокрема добувного сектору, являє собою одну з найбільш конкурентоспроможних та прогресивно розвинутих галузей економіки України. Функціонування підприємств кольорової металургії базується на комплексі взаємодіючих технологічних етапів, що охоплюють видобуток рудних джерел, їх збагачення, стадію металургійного переділу, подальшу переробку, вантажно-розвантажувальні операції та транспортування сировини і металевих продуктів. Однак у контексті промислового виробництва даної сфери основним процесом є вилучення сировинних ресурсів з метою їх подальшої переробки, що визначає ключові шкідливі виробничі фактори, які впливають на стан здоров'я персоналу, зайнятого на цих підприємствах.

За даними, отриманими в результаті проведення спеціальної оцінки умов праці на робочих місцях у гірничодобувному сегменті кольорової металургійної галузі, понад 75 % із них демонструють перевищення гігієнічних норм щодо виробничих факторів [46, с. 39]. Внаслідок багаторічних наукових досліджень було встановлено наявність комплексу шкідливих хімічних елементів в повітрі робочої зони на підприємствах кольорової металургії. Відзначається підвищений рівень впливу хімічних елементів, виділення аерозольних речовин переважно фіброгенної дії (АРФД – це така кількість речовини в повітрі, яку людина може вдихнути разово або протягом короткого періоду, і це не спричинить шкідливого впливу на здоров'я), що сприяє розвитку ряду патологічних станів органів і систем працівників, включаючи захворювання органів дихальної системи [49].

До провідних шкідливих факторів виробничого середовища та трудового процесу працівників з видобутку руд кольорових металів відносять інгаляційний вплив АРФД, пилу та хімічних речовин; інтенсивний виробничий шум; вплив підвищених рівнів вібрації; високу ступінь тяжкості та напруженості трудового процесу [51].

У гірничорудних роботах під час буріння та вибухових операцій, подрібнення та розмолу отриманої сировини утворюється значна кількість пилових частинок у повітрі робочої зони. Концентрації пилу та аерозолів у разі перевищення допустимих значень можуть чинити фіброгенний вплив, токсичний, подразнюючий та алергічний вплив [54]. У професії підземного гірничого робітника часто відзначається широкий спектр захворювань дихальної системи, таких як пневмоконіоз, гострі та хронічні пилові бронхіти. Результати досліджень вітчизняних учених підкріплюють дані зарубіжних колег, наприклад, вивчення професійних захворювань підземних робітників, викликаних впливом пилу, показує, що пневмоконіоз поширений серед гірників Америки, Китаю та Південної Африки [53, с. 280].

У структурі нозологій, що призводять до тимчасової втрати працездатності серед працівників гірничодобувних підприємств, зайнятих у сфері видобутку металургійної сировини, серед захворювань дихальної системи переважають гострий та хронічний бронхіти [48, с. 410].

Гігієнічна оцінка виробничих умов показує, що пил, що утворюється в ході основних технологічних процесів металургійного виробництва, відрізняється високим ступенем дисперсності та включає понад 80 % частинок розміром менше 1 мкм. Високі рівні концентрації пилу, діоксиду сірки, металевого нікелю, нікелевих гідроаерозолів та свинцю виявляються під час переробки сульфідних мідно-нікелевих руд у плавильних приміщеннях, агломераційних та фінштейн-роздільних цехах тощо. Процеси подрібнення, дроблення та обробки матеріалів із застосуванням механічних і термічних методів супроводжуються значним утворенням промислових аерозолів, які потрапляють у робочу зону. У добувній галузі це стосується дробильного обладнання, але також відноситься до використання печей обпалу та плавлення, де в половині проб концентрація силікатвмісного пилу та аерозолів при виготовленні титанових сплавів перевищує гранично допустимі норми, а концентрації каолінового шамоту варіюються в діапазоні від 1,4 до 150,0 мг/м³ при середньодобовому ПДК 8,0 мг/м³ [48, с. 411].

Високий рівень соматичної захворюваності на тлі суттєвого канцерогенного навантаження через виробниче середовище, пов'язане з мідно-нікелевим виробництвом, вимагає проведення моніторингу онкологічних захворювань. Найвищі показники індивідуального канцерогенного ризику серед робітників були виявлені щодо розвитку злоякісних новоутворень ободової кишки (величина ризику – $7,7 \cdot 10^{-3}$) та раку шлунка (величина ризику – $5,9 \cdot 10^{-3}$). У гірничих робітників були відзначені найвищі значення ризику щодо раку легень (величина ризику – $1,07 \cdot 10^{-3}$) та злоякісних новоутворень товстої кишки (величина ризику – $1,06 \cdot 10^{-3}$) [48, с. 412]. Поряд з цим ряд хімічних сполук, таких як цинк, кадмій, миш'як, сурма, мідь, свинець та інші, здатні впливати на центральну нервову систему, викликаючи збільшення часу слухомоторних та зоровомоторних реакцій, знижуючи рухливість нервових процесів в аналізаторних системах.

На території Кривбасу (Україна) щорічно утворюється понад 400 млн. т промислових відходів, з яких 390 млн. т вивозиться в відвали, шламо- та хвостосховища, де знаходиться понад 2,5 млрд. м³ порід і 1 млрд. м³ відходів збагачення руд. За період промислового освоєння залізрудних родовищ Кривбасу відчужено понад 34 тис. га родючих земель. Максимальні викиди пилу спостерігаються на металургійному заводі ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (350 т/рік) та агломераційних фабриках (50-60 кг на 1 т агломерату). При цьому втрати корисних компонентів становлять близько 2 млн. т/рік, вміст заліза в пилу досягає 60 % [1, с. 42]. Втрачається також багато інших мінералів, зокрема графіт, який утворюється при охолодженні чавуну. Відсутність аспіраційних систем та механізованого збору графітового пилу викликає забруднення навколишнього середовища, робочих місць і професійні захворювання працівників, а відсутність надійної технології вилучення заліза з графітового пилу призводить до викидання його в відвали.

На дробильно-сортувальних фабриках (ДСФ) та шахтних комплексів забруднювачами навколишнього середовища є аспіраційні викиди з укриттів пильного обладнання та перевантажувальних вузлів: приймальних і

проміжних бункерів, пластинчастих і стрічкових живильників, дробарок, грохотів і сухих магнітних сепараторів. Обсяги цих викидів визначаються ступенем забезпечення робочих місць нормальними санітарно-гігієнічними умовами, а запиленість – процесами, що відбуваються у вузлах та обладнанні. На одну ДСФ у середньому припадає 10 аспіраційних систем, які відсмоктують запилене повітря від 3-10 укриттів. Для очищення повітря від пилу застосовуються центробіжні (мокрі скрубери, циклон-промивачі, батарейні циклони тощо) і контактні (рукавні фільтри) пиловловлювачі: їх ефективність не перевищує відповідно 90 та 98 % [2, с. 107].

Дробильні та збагачувальні фабрики гірничозбагачувальних комбінатів. Інтенсивними джерелами забруднення навколишнього середовища є сушильні барабани руди та концентрату. Кількість газів, що викидаються з одного барабана, досягає 90 тис. м³/год при температурі 70 °С. Загальна кількість пилу, що виноситься з барабана, становить 1,5 т/год. Використання двоступеневої системи очищення (мультициклон – мокрий скруббер) дозволяє знизити запиленість до встановлених норм. Для очищення від пилу інших аспіраційних викидів дробильних і збагачувальних фабрик ГОК застосовуються мокрі скрубери з кутовими коагуляторами та циклон-промивачі СІОТ, роботу яких вважають задовільною. На ПрАТ «ПівнічнийГЗК» (Кривбас, Україна) досить ефективно працює рукавний фільтр, у Югославії – електрофільтр [23, с. 63].

Агломераційні фабрики. Процес отримання агломерату супроводжується інтенсивним виділенням у атмосферу запиленого газу. Основними джерелами забруднення є: агломераційні машини, на яких здійснюються спікання та охолодження агломерату; обпалові печі; барабанні та чашкові охолоджувачі агломерату; вузли підготовки, транспортування та пересипання руди, коксу, вапняку та інших матеріалів, що входять до складу шихти. Агломерат спікається на стрічці машини, де через нього за допомогою екстаустерів просмоктується повітря, яке уносить із собою утворені при спіканні гази та пил. Вся машина обладнана укриттям, звідки гази через вакуум-камери надходять у загальний колектор, укладений під агломераційною машиною по всій її довжині. У колекторі осідає до 50-70 % крупного пилу.

На фабриках агломерації та окатки застосовують різні за складом і конструкцією апарати та системи для очищення газу. До складу цих систем входять скрубери Вентурі, відцентрові скрубери, інерційні пиловловлювачі та відцентрові циклони. Недоліком мокрих способів уловлювання та видалення уловленого пилу є пилові відкладення на стінках газоходів, апаратів очищення та на роторі екстаустера.

Кількість пилу, що виділяється основними джерелами гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу наведемо у табл. 1.1.

Аналіз даних табл. 1.1 свідчить, що гірничозбагачувальні комбінати Кривбасу є значними джерелами пилових викидів в атмосферу, при цьому загальний обсяг виділення пилу становить майже 1,89 млн. тон на рік, з яких близько 298 тис. тон потрапляють безпосередньо в атмосферу.

Таблиця 1.1

Кількість пилу, що виділяється основними джерелами гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу

Назва підприємства	Виробництво	Джерела викидів	Загальне виділення пилу, т/рік	Викиди пилу в атмосферу, т/рік	Офіційне пило-вловлювання, %
ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат»	Дробильно-збагачувальні фабрики окатки	Корпуси дроблення та збагачення	73 132	5 509	92,47
	Цех підготовки шихти	Перевантажувальні вузли	134 614	40 654	69,80
	Фабрика металізації	Зона сушіння, обпальна піч, корпус окатки	191 083	34 782	81,79
	Всього		398 829	80 945	79,70
ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат»	Збагачувальна фабрика	Корпуси дроблення, збагачення та обпалу	160 000	16 740	90,16
	Окаткова фабрика	Корпус приготування шихти та обпалу	158 987	39 042	75,44
	Дослідно-промислова фабрика	Корпуси сепарації та обпалу	155 176	9 691	93,75
	Всього		474 163	65 473	86,40
ПАТ «Новокриворізький гірничо-збагачувальний комбінат»	РОФ-1 та РОФ-2	Зона спікання, корпус агломерації	253 761	48 121	81,04
	Корпус підготовки шихти		58 652	8 115	86,16
	Корпус дроблення, ливарний цех		161 367	13 858	91,41
	Всього		473 780	70 094	83,41
ПАТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»	Аглоцех 1	Агломераційний корпус 1 та зона спікання	57 748	13 807	72,14
	Аглоцех 2	Агломераційний корпус 1 та зона спікання	87 034	24 246	76,10
	Дробильно-збагачувальний комплекс 1	Корпус дробильно-збагачувальних фабрик	81 419	7 166	88,01

Продовження табл. 1.1

Назва підприємства	Виробництво	Джерела викидів	Загальне виділення пилю, т/рік	Викиди пилю в атмосферу, т/рік	Офіційне пиловловлювання, %
ПАТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»	Дробильно-збагачувальний комплекс 2	Корпус дробильно-збагачувальних фабрик	115 023	12 726	88,94
	Аглоцех 3, Ремгормаш	Корпус дроблення коксу, електропечі, ливарний цех	114 883	13 569	88,19
	Тракт подачі руди	Корпуси дроблення	86 557	9 755	88,73
	Всього		542 664	81 269	85,02
Всього по комбінатах			1 889 436	297 781	83,8

Джерело: [2, с. 112].

Рівень офіційного пиловловлювання коливається в межах від 69,8 % до 93,75 %, що свідчить про різний ступінь ефективності застосованих систем очищення повітря на різних підприємствах та ділянках виробництва. Найвищі показники пиловловлювання спостерігаються на дослідно-промисловій фабриці ПАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» (93,75 %), тоді як найнижчий рівень – у цеху підготовки шихти ПАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» (69,8 %). Загалом середній рівень пиловловлювання по комбінатах складає близько 83,8 %, що вказує на необхідність подальшого вдосконалення технологій очищення аспіраційних викидів для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та покращення санітарно-гігієнічних умов на робочих місцях.

1.2. Характеристика дробарного цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Публічне акціонерне товариство ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є провідним підприємством гірничо-металургійного сектору України та входить до складу глобальної корпорації ArcelorMittal – світового лідера з виробництва сталі й одного з найбільших іноземних інвесторів в українську економіку.

Юридична адреса: 50095, Україна, Дніпропетровська область, Кривий Ріг, вул. Криворіжсталі, 1 [29].

Основний вид діяльності: виробництво чавуну, сталі та феросплавів.

Інші види діяльності:

- Добування залізних руд,
- Виробництво коксу та коксопродуктів,
- Інші будівельно-монтажні роботи,
- Неспеціалізована оптова торгівля,

- Діяльність у сфері інжинірингу, геології та геодезії, надання послуг технічного консультування в цих сферах,
- Забір, очищення та постачання води,
- Будівництво житлових і нежитлових будівель,
- Будівництво трубопроводів.

Це підприємство з повним металургійним циклом, що охоплює коксохімічне виробництво, гірничодобувний процес, який включає як відкриті кар'єри, так і підземний видобуток руди, а також металургійні підрозділи, серед яких аглодоменний, сталеплавильний та прокатний департаменти.

ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» посідає одне з провідних місць серед виробників сталевих прокатів в Україні, спеціалізуючись на виготовленні довгомірних прокатів, зокрема арматури та катанки із звичайних і низьколегованих сталей. Крім того, підприємство виробляє агломерат, концентрат, кокс, чавун, сталь, а також сортовий і фасонний прокат.

Діяльність компанії охоплює повний виробничий цикл – від видобутку залізної руди до випуску готової металопродукції, що забезпечує комплексний підхід до задоволення потреб металургійної галузі.

Дробарний цех №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є одним із ключових підрозділів дробильно-збагачувального комплексу підприємства, що входить до структури гірничо-збагачувального виробництва.

Характеристику дробарного цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» наведемо у табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Характеристика дробарного цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Параметр	Значення
Підприємство	ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»
Підрозділ	Дробарний цех №1
Роль у виробництві	Первинне дроблення залізної руди
Тип сировини	Магнетитові кварцити з вмістом заліза 65,3-68,0 % і вологістю близько 10 %
Взаємодія з іншими підрозділами	Рудозбагачувальні фабрики №1 і №2, цех шламового господарства
Оснащення	Сучасне обладнання для ефективного дроблення та забезпечення оптимального гранулометричного складу
Проектна потужність гірничо-збагачувального виробництва	24,9 млн. тонн сирої руди на рік
Частка обробки дробарного цеху №1	Значна частина від загального обсягу сирої руди
Обсяг концентрату після збагачення	До 10,3 млн. тонн на рік

Джерело: [9]

Дробарний цех №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є важливим технологічним елементом гірничо-збагачувального виробництва

підприємства, що забезпечує первинне дроблення залізної руди з високим вмістом заліза та оптимальною вологістю. Завдяки сучасному обладнанню цех здатен ефективно обробляти магнетитові кварцити, формуючи гранулометричний склад сировини, необхідний для подальшого збагачення. Тісна інтеграція дробарного цеху з рудозбагачувальними фабриками та цехом шламового господарства забезпечує безперервність технологічного процесу і стабільність виробничих показників. При проектній потужності гірничо-збагачувального виробництва на рівні 24,9 млн тонн сирої руди на рік дробарний цех №1 виконує ключову функцію у підготовці значної частини сировини, що сприяє виробництву концентрату обсягом до 10,3 млн тонн на рік. Такий комплексний підхід забезпечує високу ефективність виробничого циклу та сприяє досягненню стратегічних цілей підприємства у сфері видобутку та збагачення залізної руди.

1.3. Нормативна база контролю пилових викидів в Україні

На сучасному етапі розвитку людського суспільства, на жаль, питання забруднення довкілля і, зокрема атмосфери, з кожним днем стає все гострішим, і тому для досягнення позитивних зрушень у вирішенні подібних проблем необхідно застосування комплексних підходів на рівні держави, які б включали передусім технологічні, правові, економічні та соціальні заходи. Адже, атмосферне повітря є досить специфічним «природним об'єктом». Законодавством не встановлюється право власності на нього, відсутні спеціальні підрозділи стосовно його використання, атмосферне повітря не враховується в кількісному складі, проте існує нормативно закріплений державний облік шкідливих впливів на атмосферне повітря та регулювання викидів в атмосферу, що породжує відповідні правові наслідки.

До організаційно-правових заходів щодо охорони атмосферного повітря, передусім відносять стандартизацію і нормування в галузі охорони атмосферного повітря [8, с. 5]. Стандарти, встановлені державою у цій галузі, є обов'язковими для виконання і визначають режим використання та охорони атмосферного повітря, методи контролю за станом повітря, вимоги щодо запобігання шкідливого впливу. Згідно Закону України «Про охорону атмосферного повітря» встановлені наступні нормативи: екологічної безпеки атмосферного повітря; гранично допустимих викидів забруднюючих речовин стаціонарних джерел; гранично допустимого впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел; вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел; технологічні нормативи допустимого викиду забруднюючих речовин [13, с. 108].

Водночас повітряний басейн належить до міжнародних об'єктів охорони навколишнього природного середовища. На міжнародно-правовому рівні проблема охорони атмосферного повітря від забруднення регулюється цілою низкою угод. З 1979 р. проблеми міжнародного рівня, пов'язані з транскордонним перенесенням забруднення повітря, регулюються за

допомогою спеціальної Конвенції – багатосторонньої рамкової угоди, що містить загальні обов'язки держав щодо контролю за забрудненням, обміну інформацією про стан навколишнього середовища, взаємних консультацій, моніторингу атмосферного повітря, оцінки трансграничного впливу [31, с. 107]. У рамках Конвенції здійснюється Програма Європейської економічної комісії ООН, що розпочала своє існування в 1977 р. як спільна програма спостереження та оцінки поширення забруднення повітря на великі відстані.

В березні 1985 р. була підписана Віденська конвенція про охорону озонового шару. Конвенція ООН, що була відкрита для підписання в Ріо-де-Жанейро в 1992 р., присвячена антропогенним змінам клімату і має на меті досягнути стабілізації концентрації парникових газів в атмосфері. Відповідальність держав настає як наслідок порушення ними своїх обов'язків у міжнародному праві.

В Україні діє єдина система державного моніторингу навколишнього природного середовища, що спрямований на забезпечення дотримання вимог законодавства про охорону і використання атмосферного повітря. В систему державного моніторингу входять збір, обробка, зберігання та подальший аналіз інформації про стан атмосферного повітря [6, с. 12]. На сьогоднішні спостереження за вмістом забруднюючих речовин у повітрі проводяться в 53 містах України. В ряді міст контроль за якістю повітря розпочався з 1965 р., а з 1974 р. такими спостереженнями були охоплені вже 20 міст [21, с. 289]. Сучасна система моніторингу за якістю атмосферного повітря складається з постів двох типів: стаціонарних та маршрутних. Інколи для одноразових спостережень під димовими чи газовими факелами використовують пересувні пости спостережень. Для кожного міста кількість постів повинна визначатися з урахуванням його площі, рельєфу, розвитку промисловості та кількості населення.

Методичні рекомендації з вибору місця розташування постів спостереження, їх обладнання, методики відбору проб і хімічного аналізу проб повітря містяться в [8, с. 10]. Найбільша кількість стаціонарних постів спостережень у Києві – 16, Харкові – 10, Одесі – 8 та Дніпропетровську – 7. Інші міста мають меншу кількість постів (чотирнадцять з них – лише по одному стаціонарному посту). На території України спостереження проводяться на 162 стаціонарних та двох маршрутних постах, а також на двох станціях з трансграничного перенесення. Система моніторингу, що існує на сьогодні в Україні, на жаль, є недосконалою і не може забезпечити органи державної влади та громадськість необхідною достовірною інформацією про стан атмосферного повітря в повній мірі.

Моніторинг атмосферного повітря та знання про рівень його забруднення перш за все потрібні для планування житлових масивів та організації руху автотранспорту, розміщення підприємств та оснащення їх газоочисними приладами, для нормування та регулювання викидів від різних видів джерел. Крім основного завдання моніторингу, яке полягає у зборі, обробці, зберіганні та подальшому аналізі інформації про стан атмосферного

повітря, важливими завданнями також є оцінка ефективності заходів спрямованих на захист повітряного басейну, контроль за виконанням нормативів допустимого вмісту шкідливих речовин в атмосфері, виявлення джерел забруднення повітря і негайне інформування про різкі зміни рівня забруднення.

Таким чином, нормативну базу контролю пилових викидів в Україні розглянемо у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Нормативна база контролю пилових викидів в Україні

Назва документа	Основний зміст	Відповідні статті / положення
Закон України «Про охорону атмосферного повітря»	Визначає правові основи охорони атмосферного повітря, порядок контролю та регулювання викидів	Статті 2, 34 – розрахунок неконтрольованих викидів
Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»	Закріплює загальні принципи охорони довкілля, у тому числі заходи з контролю забруднень	Стаття 3 – загальні положення щодо охорони навколишнього середовища
Постанова Кабінету Міністрів України №614 від 25.06.2020. Деякі питання Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів.	Утверджує Положення про Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, що регулює діяльність у сфері екології	Положення про Міністерство, яке координує контроль викидів

Джерело: розроблено автором на основі [16, 17, 34]

Отже, нормативно-правова база контролю пилових викидів в Україні формується комплексом законодавчих актів та урядових постанов, які встановлюють правові, організаційні та методологічні засади охорони атмосферного повітря та навколишнього природного середовища.

Закон України «Про охорону атмосферного повітря» визначає ключові положення щодо моніторингу та регулювання викидів забруднюючих речовин, зокрема через статті, присвячені розрахунку неконтрольованих викидів.

Закон «Про охорону навколишнього природного середовища» закладає фундаментальні принципи екологічної безпеки, що охоплюють контроль пилових викидів як складову частину комплексного захисту довкілля.

Постанова Кабінету Міністрів України №614 від 25 червня 2020 року встановлює організаційну структуру та повноваження Міністерства захисту довкілля і природних ресурсів, яке відповідає за реалізацію політики у сфері екологічного контролю, у тому числі контролю пилових викидів. Така нормативна база забезпечує системний підхід до управління забрудненнями атмосферного повітря, сприяє зменшенню негативного впливу промислових викидів на довкілля та здоров'я населення, а також відповідає сучасним вимогам сталого розвитку.

Витрати на охорону навколишнього природного середовища в умовах ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» представлені на рис. 1.1.

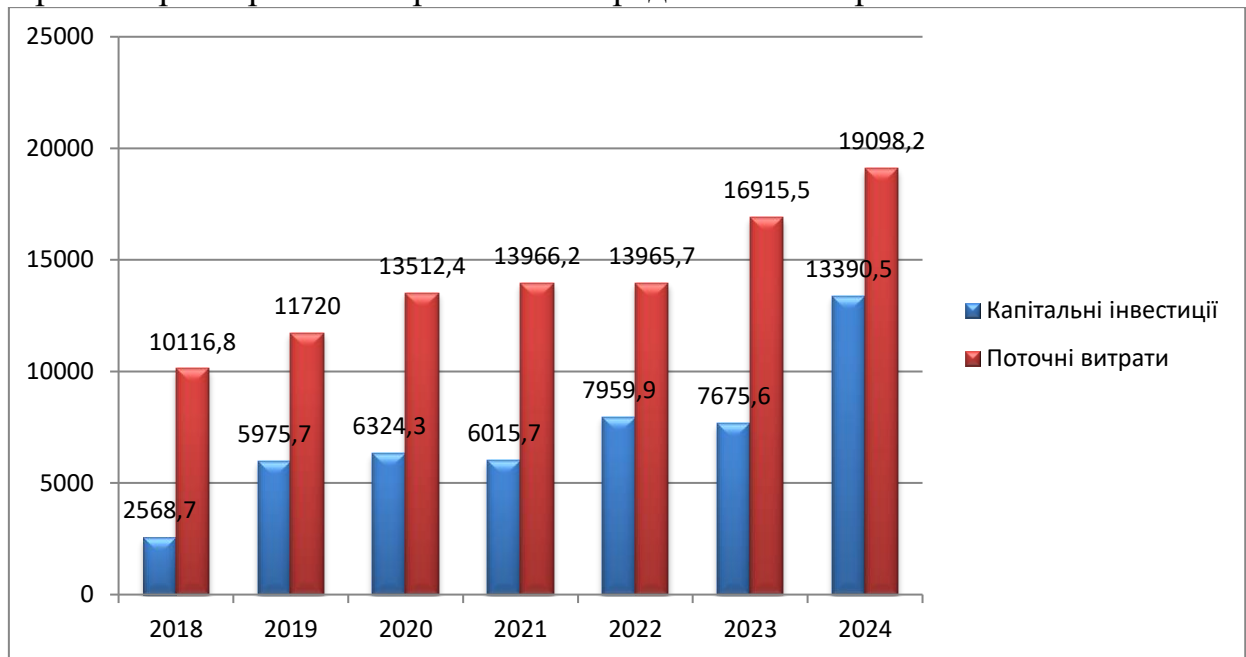


Рис. 1.1. Витрати на охорону навколишнього природного середовища (млн. грн., у фактичних цінах)

Джерело: [28]

Аналіз динаміки витрат на охорону навколишнього природного середовища в Україні за період 2018-2024 років свідчить про стабільне зростання як капітальних інвестицій, так і поточних витрат. Зокрема, капітальні інвестиції збільшилися з 2568,7 млн. грн. у 2018 році до 13390,5 млн. грн. у 2024 році, що свідчить про значне посилення інвестиційної активності у напрямку модернізації виробничих потужностей та впровадження екологічно орієнтованих технологій. Одночасно поточні витрати зросли з 10116,8 млн. грн. у 2018 році до 19098,2 млн. грн. у 2024 році, що відображає посилення операційних заходів з підтримки екологічної безпеки, включаючи експлуатацію систем очищення, моніторинг забруднення та утримання екологічних об'єктів. Така тенденція свідчить про системний підхід до охорони навколишнього середовища, що включає як довгострокові інвестиції у модернізацію, так і забезпечення стабільної експлуатації екологічних заходів. Зростання витрат у зазначеному періоді може бути обумовлене посиленням екологічних вимог, розширенням виробничих потужностей та прагненням підприємств до підвищення екологічної відповідальності [28].

Динаміка викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел забруднення у 2013-2024 роках представлена на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Динаміка викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел забруднення у 2013-2024 роках

Джерело: [28]

Аналіз динаміки викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел забруднення в Україні за період 2013-2024 років демонструє загальне коливання рівнів забруднення з тенденцією до поступового зниження у другій половині досліджуваного періоду. У 2013 році обсяг викидів становив 4429 тис. тонн, з подальшим зростанням до максимуму 4788 тис. тонн у 2014 році. Надалі спостерігається поступове зниження викидів, що досягло мінімального рівня у 2023 році – 2857 тис. тонн, що свідчить про ефективність впроваджених екологічних заходів і технологічних модернізацій на промислових об'єктах. Індекси викидів, які відображають відносні зміни у порівнянні з базовим періодом, підтверджують ці тенденції: після зростання понад 100% у 2013-2014 роках, вони поступово знижувалися до 78,5% у 2022 році. Проте у 2024 році спостерігається незначне збільшення індексу до 107,7%, що може свідчити про тимчасове послаблення контролю або збільшення виробничої активності без достатнього екологічного супроводу [28].

Динаміка обсягів утворення відходів у 2019-2024 роках представлена на рис. 1.3.

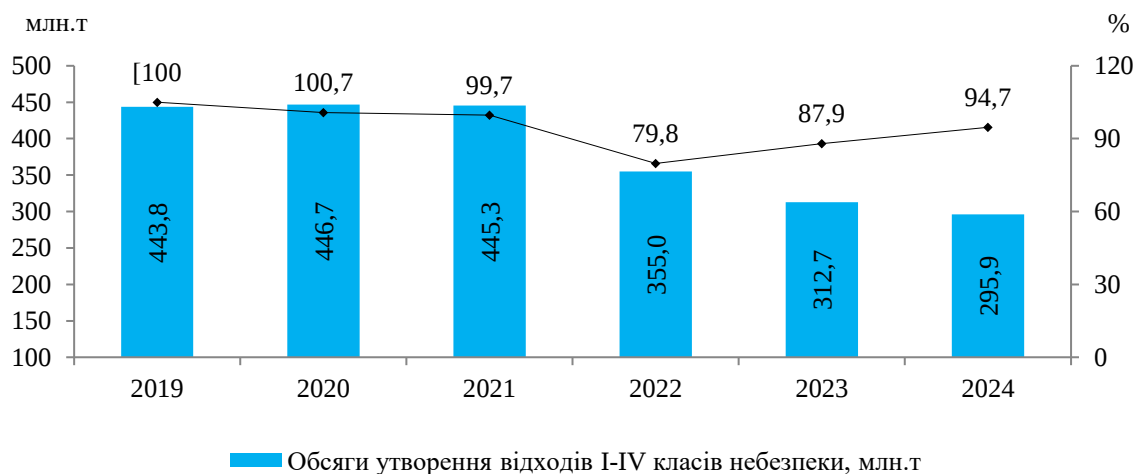


Рис. 1.3. Динаміка обсягів утворення відходів у 2019-2024 роках

Джерело: [28]

Аналіз динаміки обсягів утворення відходів I-IV класів небезпеки в Україні за період 2019-2024 років свідчить про загальне зниження кількості відходів, що утворюються. У 2019 році обсяги утворення відходів становили 443,8 млн. тонн, з незначним зростанням до 446,7 млн. тонн у 2020 році та подальшим стабільним рівнем у 2021 році (445,3 млн. тонн).

Починаючи з 2022 року, спостерігається помітне зниження обсягів відходів до 355,0 млн. тонн, що становить 79,8% від рівня 2019 року, з подальшим зменшенням у 2023 (312,7 млн. тонн) та 2024 (295,9 млн. тонн) роках. Індекси обсягів утворення відходів підтверджують цю тенденцію, демонструючи зниження до 94,7% у 2024 році порівняно з базовим 2019 роком. Така динаміка може бути пов'язана з впровадженням ефективніших технологій управління відходами, посиленням нормативно-правового регулювання у сфері охорони навколишнього середовища, а також змінами у виробничих процесах, спрямованих на мінімізацію утворення небезпечних відходів. Зменшення обсягів утворення відходів є позитивним сигналом щодо підвищення екологічної безпеки та сталого розвитку країни, однак подальша увага до оптимізації систем управління відходами та впровадження інноваційних підходів залишається актуальною для збереження досягнутих результатів та подальшого покращення екологічного стану [28].

Дослідження «Відходи та війна» (2023 р.), проведене ГО «Еколтава» у співпраці з ГО «Нуль відходів Львів» у рамках Ініціативи з розвитку екологічної політики й адвокації в Україні за підтримки Міжнародного фонду «Відродження» (з фінансовою підтримкою Швеції), спрямовувалося на вивчення змін у кількості та складі твердих побутових відходів у містах прийому під час російської агресії в Україні. Результати показали появу нових джерел формування відходів та проблеми утилізації певних видів відходів.

За цей час експертам вдалося отримати такі результати:

- з'явилися нові види утворення відходів: гуманітарні хаби, які забезпечують надання гуманітарної допомоги, харчування, проживання ВПО;
- більшість хабів мають низький рівень сортування сміття та використання упаковки повторно;
- існує проблема утилізації небезпечних відходів, таких як протерміновані ліки;
- потрібна система управління органічними відходами, так як їх в утворюваних відходах багато;
- результати аналізу складу твердих побутових відходів показали, що переважають харчові відходи, полімери та скло;
- у надзвичайних ситуаціях для першочергових потреб використовують найдешевші та доступні матеріали, зокрема пластик одноразового використання.

Отже, існуюча в Україні система моніторингу довкілля не забезпечує проведення систематичних і обґрунтованих оцінок гранично допустимих змін природних екосистем та техногенних навантажень на них і характеру основних джерел загроз екологічній безпеці та потребує кардинального

удосконалення. Комплексна оцінка стану екологічної безпеки в аспекті національної безпеки держави в Україні не здійснюється. Серед важливих причин посилення кризового екологічного стану в державі можна виокремити відсутність науково-обґрунтованих критеріїв оцінки екологічних загроз національній безпеці, а також недостатній рівень пріоритету державної екологічної політики за відсутності дієвого екологічного моніторингу.

Держава має право та повинна реалізовувати стимулюючу екологічну політику задля цілей сталого розвитку. Для України така політика є обов'язковою з урахуванням міжнародних зобов'язань та кліматичних цілей. Підприємства повинні інвестувати в екомодернізацію. Однак екокриза поглиблюється. Наразі в Україні більшість державних заводів знаходиться у кризі, а більшість приватних ніяк не можуть вийти на нормальні обсяги.

Пріоритети сталого розвитку України на період 2015-2030 років включають низку ключових завдань у сфері охорони навколишнього середовища. Серед них – формування надійних та стабільних систем виробництва харчових продуктів, які сприяють збереженню природних екосистем і поступовому відновленню якості земельних ресурсів, зокрема через впровадження передових інноваційних технологій. Важливою складовою є також скорочення обсягів скидання неочищених стічних вод, що передбачає застосування сучасних технологій очищення на державному та індивідуальному рівнях. Крім того, пріоритетом є мінімізація негативного впливу забруднюючих речовин, зокрема у міських агломераціях, шляхом використання інноваційних методів, а також зниження утворення відходів і збільшення їх переробки та повторного використання на основі новітніх технологічних рішень. Не менш важливим завданням є обмеження викидів парникових газів у різних секторах економіки задля зменшення антропогенного навантаження на кліматичну систему [27]. Екологічне оподаткування виступає одним з ефективних інструментів реалізації цілей стійкого розвитку.

У 2016 р Україна ратифікувала Паризьку угоду, яка стосується глобальної відповіді на загрозу зміни клімату [33]. Директива 2010/75/ЄС про промислові викиди впроваджується через Національну програму скорочення викидів від великих сміттєспалювальних заводів [36]. Наразі здійснюється удосконалення екологічної політики країни, яке зумовлене як внутрішніми проблемами країни, так і зовнішніми зобов'язаннями.

Внутрішніми передумовами для розвитку системи екологічного оподаткування є економічні, соціальні та політичні фактори. Стан навколишнього природного середовища визначає заходи з національної безпеки (зокрема, екологічна, радіаційна, продовольча безпека, охорона здоров'я). Зовнішніми чинниками виступає ратифікація міжнародних угод, конвенцій та директив. Євроінтеграційні процеси в Україні зумовлюють необхідність адаптації до екологічного законодавства.

Після здобуття незалежності в Україні діяв екологічний податок, який сплачувався за нанесену довкіллю шкоду. Його замінив відповідний збір за забруднення навколишнього природного середовища. Екологічний податок був

введений у дію з прийняттям Податкового кодексу України. Об'єкт оподаткування мінявся від викидів і скидів забруднюючих речовин, розміщення відходів до чіткого п'яти об'єктів оподаткування, які також охоплюють утворення радіоактивних відходів та функціонування об'єктів атомної енергетики. Зміни в умовах оподаткування стосувалися розмірів лімітів та нормативів, ставки податку, порядку їх встановлення, спрямування та використання відповідних коштів.

Згідно з Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 р. [38] та Основних засад (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2030 р. [37] одним із превентивних заходів є оподаткування екологічно небезпечної продукції. Подібні зміни передбачають збільшення ставок, зменшення лімітів викидів та нормативів забруднень.

Відсутність системного підходу до виконання запланованих заходів несе певні ризики, зокрема зниження ділової активності, підвищення цін на товари та послуги, зростання безробіття, екологічні загрози через втрату дозволів, ліцензій чи надмірні ставки екологічного податку [15, с. 21]. Для досягнення орієнтирів у екологічній сфері необхідним є цільове і ефективне використання коштів від екологічного податку.

Незважаючи на численні дослідження, система екологічного податку в Україні залишається далеко не ідеальною. Більшість його елементів є дисперсними і не дають мультиплікаційного ефекту в бік зменшення екологічного навантаження. У зв'язку з цим відкритим залишається питання адекватної оцінки ефективності функціонування системи екологічного оподаткування в Україні та рекомендацій щодо перспектив її вдосконалення.

Важливим аспектом у сфері екологічного оподаткування є розподіл коштів між рівнями бюджетної системи та напрямом їх витрачання.

Платники екологічного податку перераховують суми податку, що справляється за викиди, крім викидів CO₂, скиди забруднюючих речовин та розміщення відходів, одним платіжним дорученням на рахунки, відкриті в органах, що здійснюють казначейське обслуговування бюджетних коштів, які забезпечують розподіл цих коштів у співвідношенні (Бюджетний кодекс України):

- 45% екологічного податку – до загального фонду держбюджету (крім екоподатку, що справляється за викидів двоокису вуглецю);
- екоподатку, що справляється за утворення радіоактивних відходів (включаючи вже накопичені) та/або тимчасове зберігання радіоактивних відходів їх виробниками понад встановлений особливими умовами ліцензії строк, який зараховується до спеціального фонду державного бюджету у повному обсязі);
- 55% – до спеціального фонду місцевих бюджетів (крім екоподатку, що справляється за викидів двоокису вуглецю та за утворення радіоактивних відходів) [7].

Загалом значна частина витрат на охорону навколишнього середовища може бути оплачена за рахунок екологічних податків, у зв'язку з чим постає питання, наскільки негативний вплив на навколишнє середовище можна

усунути заходами платників екологічного податку. Є проблеми з цільовим використанням та освоєнням коштів екологічного податку.

Одним з показників мотивуючої функції екологічного податку є співвідношення суми екологічних податків, які сплачують підприємства, до коштів, необхідних для екологізації виробництва. Також важливо порівняти ставки екологічного податку з можливостями підприємницького кредитування (ставки кредитів для суб'єктів господарювання).

Таким чином, стимулюючого впливу екологічного податку в Україні не було. Як видно, чинний екологічний податок ще не виконав належної ролі, а система екологічного податку потребує термінового вдосконалення.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛ УТВОРЕННЯ ПИЛУ

2.1. Аналіз технологічного процесу дроблення сировини

Дробарний цех №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є ключовим підрозділом гірничо-збагачувального комплексу підприємства, що забезпечує первинне дроблення залізної руди високої якості. Ефективне дроблення сировини є необхідною умовою для подальшого збагачення та виробництва концентрату із заданими фізико-хімічними властивостями. У цеху використовується сучасне обладнання, що дозволяє забезпечити оптимальний гранулометричний склад сировини, необхідний для технологічних процесів наступних стадій виробництва.

Такий склад сировини визначає особливості технологічного процесу дроблення, оскільки необхідно зберегти максимальну якість залізної руди при одночасному отриманні оптимального розміру фракцій для подальшої обробки.

Технологічний процес дроблення складається з кількох послідовних стадій, кожна з яких виконує певну функцію щодо зменшення розміру кусків руди та формування необхідного гранулометричного складу (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Основні стадії дроблення сировини при виготовленні чавуну та сталі у ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Стадія дроблення	Розмір кусків до дроблення, мм	Розмір кусків після дроблення, мм	Основні характеристики
Крупне дроблення	до 1200	100-350	Первинне зменшення розміру великих шматків руди
Середнє дроблення	100-350	40-60	Подальше зменшення розміру для підготовки до дрібного дроблення
Дрібне дроблення	40-60	6-25	Формування фракцій, придатних для збагачення
Подрібнення	6-25	1 мм і менше	Тонке подрібнення для підвищення ефективності збагачення

Джерело: розроблено автором на основі [9]

Крупне дроблення є першою стадією технологічного процесу, метою якої є зменшення розміру великих шматків сировини до розмірів, придатних для подальшої обробки. У дробарному цеху №1 для цієї стадії використовуються щелепні дробарки, які здатні ефективно роздавлювати тверді породи.

На стадії середнього дроблення використовується конусне дробарське обладнання, що забезпечує більш точне формування фракцій розміром 40-60 мм. Ця стадія готує сировину для дрібного дроблення та подрібнення.

Дрібне дроблення здійснюється за допомогою валкових і молоткових дробарок, які дозволяють отримати фракції розміром 6-25 мм. Подрібнення, як правило, проводиться у млинах, де розмір часток зменшується до 1 мм і менше. Подрібнення часто відбувається у водному середовищі, що знижує пиловиділення та підвищує продуктивність [29, с. 106].

У дробарному цеху №1 застосовуються різні методи дроблення сировини, які залежать від фізичних властивостей руди та технологічних вимог (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Основні методи дроблення сировини у дробарному цеху №1

Метод дроблення	Опис	Застосування на виробництві
Роздавлювання	Вплив стиснення між двома поверхнями	Крупне і середнє дроблення
Зтирання	Тертя між поверхнями	Дрібне дроблення
Розколювання	Вплив удару або вигину	Крупне дроблення твердих порід
Удар	Вплив ударної сили	Молоткові дробарки для дрібного дроблення
Комбіновані методи	Поєднання кількох методів	Забезпечує високу ефективність дроблення

Джерело: розроблено автором на основі [29]

Для забезпечення ефективного дроблення сировини дробарний цех №1 оснащений сучасним обладнанням, що включає:

- Щелепні дробарки – для крупного дроблення;
- Конусні дробарки – для середнього дроблення;
- Валкові та молоткові дробарки – для дрібного дроблення;
- Млини – для тонкого подрібнення у водному середовищі.

Основні типи застосовуваних дробарок у дробарному цеху №1 представлені на рис. 2.1.

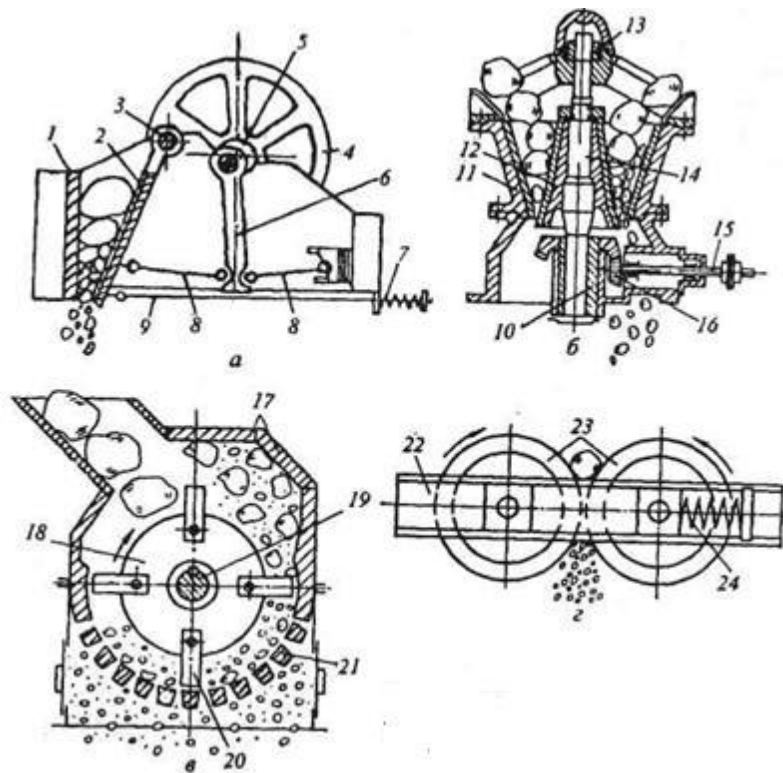


Рис. 2.1. Схема влаштування дробарок: а – щелепної; б – конусної; в – молоткової; г – валкової
Джерело: [40, с. 201]

Щелепні дробарки служать для великого та середнього дроблення. Схема одного з різновидів щелепних дробарок показана на рис. 2.1а. Дрібну руду завантажують зверху в зазор між нерухомою щелепною 1 і рухомою 2, підвішеною на осі 3. Привід дробарки через шків 4 обертає ексцентриковий вал 5, при цьому шатун рухається вгору-вниз. При підйомі шатуна розпірні плити 8 натискають на рухливу щелепу 2, вона зближується з нерухомою і відбувається дроблення шматків руди; при опусканні шатуна рухома щелепа відходить назад під впливом пружини 7 і тяги 9 і через зазор між щелепами знизу висипається дроблена руда. Продуктивність щелепних дробарок становить 10...700 т/год.

У конусних дробарках (рис. 2.1б) основними робочими елементами є нерухомий 11 і рухомий 12 конуси, в зазор між якими зверху засипають дробину руди. Верх вала 14 рухомого конуса закріплений в шарнірі 13, а його нижній частині надають за допомогою приводного валу 15, зубчастої передачі 16 і ексцентрика 10 обертальний рух. Рухомий конус при цьому перекочується по внутрішній поверхні нерухомого конуса і в місці зближення конусів відбувається дроблення шматків, а з протилежної сторони через кільцеву щілину прокидається дроблений продукт. Конусні дробарки застосовуються для великого, середнього та дрібного дроблення. Продуктивність дробарок великого дроблення становить 150 ... 2300 м³/год., середнього – від 8 до 580 м³/год., дрібного – від 24 до 260 м³/год [44, с. 107].

Молоткові дробарки (рис. 2.1в) застосовують для великого, середнього та дрібного дроблення м'яких та середніх за твердістю порід. Дробарка

складається з корпусу, всередині якого закріплені масивні відбійні плити 17. В опорах конуса встановлений вал 19, що обертається з великою швидкістю, з насадженими на нього декількома дисками 18, на яких шарнірно закріплені сталеві молотки (біли) 20. Дроблення відбувається в результаті ударів; видача подрібненої руди відбувається через отвори колосникових грат 21. Продуктивність молоткових дробарок досягає 1500 т/год. і більше. Валкові дробарки застосовують для середнього та дрібного дроблення порід середньої фортеці. Найчастіше застосовують дво- і чотиривалкові дробарки.

У двовалковій дробарці (рис. 2.1г) дроблення відбувається між двома обертовими палицями 23; обидва приводні валка, один з них закріплений в рамі 22 жорстко, другий – рухливий і притискається до нерухомого пружиною 24 або гідравлічним, або пневмогідравлічним пристроєм. Валки бувають гладкими і іноді рифленими та зубчастими [47, с. 520].

Це обладнання дозволяє забезпечити необхідний гранулометричний склад сировини, що є критично важливим для подальшого збагачення.

Дробарний цех №1 тісно інтегрований з іншими підрозділами гірничо-збагачувального комплексу, зокрема з рудозбагачувальними фабриками №1 і №2 та цехом шламового господарства. Така взаємодія забезпечує безперервність технологічного процесу, стабільність якості сировини та високі виробничі показники.

2.2. Аналіз основних джерел пилових викидів

Робота дробильного обладнання сприяє виділенню великої кількості пилу. Процес пилоутворення залежить від фізичних властивостей матеріалу, що піддається обробці. Дроблення частинок меншої дисперсності сприяє більшому пилоутворенню. За наявності вологи в оброблюваному матеріалі кількість пилу, що потрапляє в робочу зону, значно скорочується.

Пилоутворення на дробарних установках відбувається через механічне подрібнення матеріалів, а також при транспортуванні та пересипанні руди. Основні джерела пилу включають [42, с. 69]:

- Первинне дроблення – процес руйнування великих фрагментів матеріалу.
- Вторинне і третинне дроблення – переробка дрібних фракцій, що супроводжується утворенням найдрібніших частинок.
- Транспортування – пересипання, конвеєрні стрічки, бункери.
- Вітер і повітряні потоки разносять пилові частинки на значні відстані. Наслідки високої запиленості у дробарному цеху:
- Шкідливий вплив на здоров'я персоналу (професійні захворювання, включаючи силікоз).
- Підвищене зношування обладнання через абразивну дію пилу.
- Забруднення навколишнього середовища та погіршення видимості на виробничих майданчиках.
- Порушення норм промислової безпеки та екологічних стандартів.

Аналіз основних джерел пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» виконаємо у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Аналіз основних джерел пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

№ з/п	Назва та тип технологічного обладнання, джерела пилових викидів	Кількість одиниць	Час роботи обладнання, год./добу	Джерело викиду пилу (вентиляційна система)	Висота викиду, м	Діаметр гирла, м
1	Молоткова дробилка-1, бункери (АУ-73)	4	8	Аспіраційна система АУ-73	12	0,47
2	Перевантажувальний вузол №30 (АУ-30)	2	24	Аспіраційна система АУ-30	18	0,7
3	Перевантажувальний вузол №31-1 (АУ-31-1)	6	12	Аспіраційна система АУ-31-1	28	1,1
4	Перевантажувальний вузол №31-2 (АУ-31-2)	6	24	Аспіраційна система АУ-31-2	28	1,1
5	Перевантажувальний вузол №36 (АУ-36)	4	2	Аспіраційна система АУ-36	26	0,71
6	Перевантажувальний вузол №38 (АУ-38)	3	24	Аспіраційна система АУ-38	20	0,62
7	Перевантажувальний вузол №39 (АУ-39)	6	24	Аспіраційна система АУ-39	17	0,78
8	Перевантажувальний вузол №40 (АУ-40)	3	24	Аспіраційна система АУ-40	14	0,65

Джерело: розроблено автором

Аналіз основних джерел пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» свідчить про наявність восьми ключових технологічних вузлів, які є джерелами пилового забруднення атмосферного повітря. Вони включають молоткову дробарку, бункери та перевантажувальні вузли з різною кількістю одиниць обладнання та часом їх роботи, що варіюється від 2 до 24 годин на добу. Висота викидів пилу коливається в діапазоні від 12 до 28 метрів, що сприяє розсіюванню забруднюючих речовин у повітряному середовищі та зменшенню концентрації пилу у приземному шарі атмосфери.

Діаметри гирл вентиляційних систем також різняться – від 0,47 до 1,1 метра, що впливає на продуктивність аспіраційних систем і ефективність видалення пилу. З огляду на різноманітність типів та режимів роботи

обладнання, а також параметрів вентиляційних систем, доцільно здійснювати постійний моніторинг та оптимізацію роботи аспіраційних установок з метою підвищення їх ефективності та зниження пилових викидів. Це є важливим кроком для забезпечення екологічної безпеки підприємства, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та покращення санітарно-гігієнічних умов на території виробництва і прилеглих територіях.

Об'єкти агломераційного виробництва характеризуються тим, що під час приймання, дроблення, складування, усереднення матеріалів для виробництва агломерату та безпосереднього спікання агломерату супроводжуються виділенням цілого ряду специфічних речовин, що входять до його складу.

Валовий викид забруднюючих речовин розраховується за формулою (т/рік) [39, с. 251]:

$$G_i = C_i \cdot V \cdot 3,6 \cdot T \cdot 10^{-6}, \quad (2.1)$$

де C_i – середня концентрація i -тої речовини у пробах, мг/м³;

V – об'ємна витрата газів, м³/сек;

T – час роботи джерела викидів, год/рік.

Максимальний викид забруднюючих речовин (г/сек) визначається за формулою [39, с. 251]:

$$M_i = C_i^{\max} \cdot V \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

$C_i^{\max}$ – максимальна концентрація i -тої речовини у пробах, мг/м³.

При визначенні максимально-разових викидів слід враховувати тривалість викиду забруднюючих речовин, приводячи потужність викиду до 20-30-хвилинного інтервалу, якщо тривалість викиду не перевищує 20 хвилин.

Розрахунки масових виділень забруднюючих речовин до очищення та масових викидів після очищення проведемо у табл. 2.4-2.5.

Таблиця 2.4

Розрахунки масових виділень пилу до очищення для основних джерел пилових викидів дробарного цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

№ з/п	Джерело пилових викидів	Висота викиду, м	Діаметр гирла, м	Площа перерізу, м ²	Швидкість, м/с	Витрата повітря, м ³ /с	Температура, °С	Максимальна концентрація, мг/м ³	Середня концентрація, мг/м ³	Максимальний викид, г/с	Час роботи, год/рік	Валовий викид, т/рік
1	Молоткова дробилка-1, бункери (АУ-73)	12	0,47	0,173	16,12	2,795	0	185,54	168,67	0,518	1921	21,737

2	Перевантажувальний вузол №30 (АУ-30)	18	0,7	0,385	3,64	1,400	12	210,00	190,91	0,294	7937	58,750
3	Перевантажувальний вузол №31-1 (АУ-31-1)	28	1,1	0,950	13,96	13,260	10	291,30	264,82	3,862	3450	243,64
4	Перевантажувальний вузол №31-2 (АУ-31-2)	28	1,1	0,950	15,53	14,751	10	346,71	315,19	5,114	6900	2309,8
5	Перевантажувальний вузол №36 (АУ-36)	26	0,71	0,396	12,9	5,105	18	210,00	190,91	1,072	460	1,613
6	Перевантажувальний вузол №38 (АУ-38)	20	0,62	0,302	10,6	3,199	5	241,87	219,88	0,773	6576	80,434
7	Перевантажувальний вузол №39 (АУ-39)	17	0,78	0,478	5,74	2,741	4	513,00	466,36	1,406	6576	107,32
8	Перевантажувальний вузол №40 (АУ-40)	14	0,65	0,332	16,51	5,476	16	148,05	134,59	0,810	6576	174,47

Джерело: розроблено автором

Аналіз отриманих даних показує, що найбільші об'єми пилових викидів припадають на перегрузочні вузли №31-1 та №31-2, які характеризуються високою витратою повітря (13,26 та 14,75 м³/с відповідно) та значними максимальними концентраціями пилу (291,3 та 346,71 мг/м³). Це зумовлює максимальні значення масових викидів пилу – 3,862 г/с та 5,114 г/с відповідно, а також суттєві валові викиди в межах 243,6 та 2309,8 т/рік. Варто відзначити, що висота викидів у діапазоні 12-28 м сприяє розсіюванню пилових частинок, що знижує локальні концентрації забруднювачів, проте не усуває необхідності ефективного очищення газових викидів.

Інші джерела пилових викидів, зокрема молоткова дробилка-1 та перегрузочні вузли №30, №36, №38, №39 та №40, характеризуються меншими обсягами витрати повітря та відповідно нижчими значеннями максимальних і валових викидів пилу, проте їх сукупний внесок у загальний пиловий баланс є суттєвим і потребує системного контролю. Отримані результати підкреслюють необхідність підтримання високої ефективності аспіраційних систем і використання сучасних технологій очищення для мінімізації негативного впливу пилових викидів на навколишнє середовище та здоров'я населення.

Таблиця 2.5

Розрахунки масових виділень пилу після очищення для основних джерел пилових викидів дробарного цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

№ з/п	Джерело пилових викидів	Валовий викид до очищення, т/рік	Коефіцієнт очищення, %	Валовий викид після очищення, т/рік
1	Молоткова дробилка-1, бункери (АУ-73)	21,737	85	3,260
2	Перевантажувальний вузол №30 (АУ-30)	58,750	87	7,637
3	Перевантажувальний вузол №31-1 (АУ-31-1)	243,644	82,1	43,612
4	Перевантажувальний вузол №31-2 (АУ-31-2)	2309,839	95	115,491
5	Перевантажувальний вузол №36 (АУ-36)	1,613	0	1,613
6	Перевантажувальний вузол №38 (АУ-38)	80,434	79,3	16,649
7	Перевантажувальний вузол №39 (АУ-39)	107,327	71,8	30,266
8	Перевантажувальний вузол №40 (АУ-40)	174,471	90	17,447

Джерело: розроблено автором

Проведені розрахунки масових виділень пилу після очищення для основних джерел пилових викидів дробарного цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» свідчать про ефективність застосованих аспіраційних систем у зниженні рівня пилового забруднення атмосферного повітря.

Аналіз даних показує, що коефіцієнти очищення варіюються від 0 % (для перевантажувального вузла №36) до 95 % (для перевантажувального вузла №31-2), що свідчить про неоднакову ефективність очистки на різних ділянках виробництва.

Найбільші валові викиди пилу після очищення спостерігаються на перевантажувальному вузлу №31-2 (115,491 т/рік) та перевантажувальному вузлу №31-1 (43,612 т/рік), що зумовлено значними вихідними концентраціями пилу та інтенсивністю технологічних процесів у цих зонах. Водночас, інші джерела, зокрема молоткова дробилка-1 та перевантажувальні вузли №30, №38, №39 і №40, демонструють суттєве зниження пилових викидів завдяки високому рівню очищення, що свідчить про ефективність діючих аспіраційних систем.

Водночас відсутність очищення на перевантажувальному вузлу №36 вказує на потенційні ризики для екологічної безпеки та потребує впровадження додаткових заходів з очищення газових викидів. Загалом, отримані результати підкреслюють необхідність постійного моніторингу та оптимізації систем очищення пилових викидів, що сприятиме зменшенню негативного впливу виробничої діяльності на навколишнє середовище та здоров'я населення, а також забезпечить відповідність нормативним вимогам екологічної безпеки.

2.3. Оцінка впливу пилу на екологічні та економічні показники ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є одним із провідних підприємств гірничо-металургійного сектору України, що здійснює виробництво чавуну, сталі та феросплавів. Як великий промисловий комплекс, ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» несе значний вплив на стан навколишнього середовища, зокрема на атмосферне повітря через викиди пилу та інших забруднюючих речовин. Відповідно до законодавства України, підприємства зобов'язані сплачувати екологічний податок за фактичні обсяги викидів забруднюючих речовин у атмосферу, що є важливим інструментом стимулювання зменшення негативного впливу на довкілля.

Нижче наведено розрахунок розміру екологічного податку за викиди пилу в атмосферу ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за 2025 рік на основі офіційних ставок податку, затверджених Податковим кодексом України (п. 243.1, 243.4 ПКУ) (табл. 2.6) [41].

Таблиця 2.6

Розрахунок розміру екологічного податку за викиди пилу в атмосферу ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за 2025 рік

Показник	Значення
Обсяг викидів пилу, т/рік (G)	8787,345
Ставка екологічного податку, грн/т	96,99
Розмір екологічного податку, грн	$8787,345 \times 96,99 = 851\,986,7$

Джерело: розроблено автором

Згідно з проведеним розрахунком, розмір екологічного податку ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за викиди пилу в атмосферне повітря у 2025 році становить приблизно 852 тисячі гривень. Цей податок є одним із механізмів державного регулювання, що спрямований на стимулювання підприємств до впровадження більш чистих технологій та зменшення обсягів забруднення навколишнього середовища.

Враховуючи значний обсяг викидів пилу, що є характерним для гірничо-металургійного виробництва, своєчасна та повна сплата екологічного податку сприяє підвищенню екологічної відповідальності підприємства, а також забезпечує додаткові фінансові ресурси для реалізації природоохоронних заходів на державному рівні.

ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» має можливість зменшувати податкове навантаження через модернізацію аспіраційних систем та впровадження передових екотехнологій, що відповідає стратегічним цілям сталого розвитку підприємства та охорони навколишнього середовища.

Для визначення рівня забруднення довкілля пилом в результаті діяльності ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» застосовувалися дані лабораторних аналізів якості підземних і поверхневих вод, характеристик

ґрунтів, а також моніторинг атмосферного повітря. Використовувалися як результати лабораторних досліджень, проведених на замовлення підприємства або власними лабораторними підрозділами, так і інформація, отримана з платформ ЕкоСистема, Дія та Екосейв [18].

Заходи з мінімізації впливу пилових відходів ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на навколишнє середовище передбачають комплексний підхід у сфері управління відходами, охорони атмосферного повітря, захисту ґрунтів та водних ресурсів, а також забезпечення стабільності полігонів і раціонального використання природних ресурсів.

Управління відходами здійснюється шляхом впровадження технологій їх сортування і зонування відповідно до хімічних та фізичних характеристик, що дозволяє ефективно відокремлювати матеріали для подальшої переробки. Для оптимального розміщення відходів застосовується методика ущільнення та послідовного пошарового заповнення робочих зон полігону різними фракціями, що сприяє максимальному використанню площі та зменшенню ризиків самозаймання. Важливою складовою є постійний контроль умов зберігання відходів, що гарантує дотримання екологічних нормативів і запобігає їх порушенням. Передача відходів спеціалізованим організаціям здійснюється на підставі укладених договорів, що підтверджують наявність відповідних ліцензій на утилізацію або переробку, з особливою увагою до небезпечних матеріалів. Небезпечні відходи, зокрема ті, що містять нафтові продукти, зберігаються у спеціально відведених зонах із застосуванням ізолюючих шарів для попередження самозаймання. При цьому суворо дотримується обмеження максимального обсягу накопичення відходів і контроль за висотою насипу відповідно до проектних нормативів. Забороняється спалювання відходів на території полігону, що виключає додаткове забруднення повітря.

Для зменшення пилових викидів на підприємстві впроваджуються заходи з пилоподавлення, які передбачають регулярне зрошення водою зон розвантаження залізничного та автомобільного транспорту, місць завантаження відходів у транспортні засоби, а також поверхонь карт-накопичувачів і автодоріг у теплий період року. Зрошення здійснюється з урахуванням погодних умов і температурного режиму, з використанням як стаціонарних систем подачі технічної води, так і мобільного поливозрошувального транспорту. Для запобігання розповсюдженню пилу під час транспортування відходів кузови автотранспорту накриваються тентами. Крім того, підприємство забезпечує регулярний технічний огляд транспортних засобів, виключає роботу двигунів під час простоїв, що сприяє зменшенню викидів паливно-мастильних матеріалів. Заходи з охорони атмосферного повітря враховують особливості несприятливих метеорологічних умов, проте аналіз розсіювання пилу показує, що існуючі заходи є достатніми і не потребують додаткових дій у такі періоди [18].

Захист ґрунтів, поверхневих та підземних вод від забруднення фільтраційними стоками забезпечується шляхом застосування інженерних рішень: дно карт-накопичувачів обладнане протифільтраційними екранами,

між картами встановлені бортові екрани та обвалування, а також створена дренажна система для збору та відведення дощових, талих і фільтраційних вод у спеціальні колодязі. Вода зворотного циклу проходить фільтрацію перед використанням у технологічних процесах, а її якість контролюється за показниками вмісту завислих речовин і нафтопродуктів. Окрім того, здійснюється систематичний моніторинг технічного стану дренажних систем, рівнів підземних вод, їх хімічного складу, а також забруднення ґрунтів у зоні впливу полігону. Для мінімізації негативного впливу автотранспорту на навколишнє середовище забороняється експлуатація транспортних засобів з витокami паливно-мастильних матеріалів, а злив таких матеріалів виконується лише у спеціально обладнаних місцях.

Для забезпечення стійкості відвалів полігону впроваджується контрольоване та рівномірне складування відходів із дотриманням проектних параметрів, норм висоти та нахилу уступів, що попереджує ризики обвалів. Проводиться регулярний маркшейдерський нагляд за станом укосів, а у разі виявлення ознак просідання або зсувів – оперативне укріплення проблемних ділянок. Паралельно ведеться моніторинг ґрунтових, гідрогеологічних і інженерно-геологічних умов для підтримання стабільності геологічних структур [29].

Рациональне використання природних ресурсів реалізується через збір, очищення та повторне застосування дощових, талих і фільтраційних вод у технологічних процесах, зокрема для пилоподавлення. Крім того, передача відходів на переробку та продовження терміну експлуатації полігону сприяє ефективному використанню земельних ресурсів, зменшуючи потребу у виділенні нових територій для розміщення відходів.

У разі неможливості подальшої переробки не небезпечних відходів їх захоронення здійснюється на полігоні з подальшою рекультивацією території після завершення експлуатації, що дозволяє відновити порушені земельні ділянки й привести їх до екологічно безпечного стану. До компенсаційних заходів також належить сплата екологічного податку за забруднення атмосферного повітря та розміщення відходів, що є додатковим стимулом для зниження негативного впливу на довкілля.

Оцінка впливу пилових відкладень на водне середовище в зоні діяльності ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» базується на аналізі хімічного та фізичного стану поверхневих та підземних водних ресурсів, а також на врахуванні заходів, що реалізуються для мінімізації негативних наслідків.

Поверхневі водні об'єкти – річка Інгулець та водосховище Південне – розташовані на значній відстані від полігону ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (близько 7,6 км на захід і 3,1 км на схід відповідно), що суттєво знижує прямий вплив пилу та інших забруднювачів з об'єкту на ці водні системи. Водночас, у межах промислової зони існує комплексний вплив від різних підприємств, що формує якісний склад поверхневих вод.

Для захисту водосховища Південного від забруднення поверхневими стоками створено систему нагірних каналів, які збирають стоки з прилеглих територій, включно з відвалами шлаків та шламонакопичувачами (рис. 2.2). Ці

води частково використовуються для технологічних потреб підприємства, зокрема для пилопригнічення, що зменшує кількість пилу, що може потрапити у водні об'єкти.

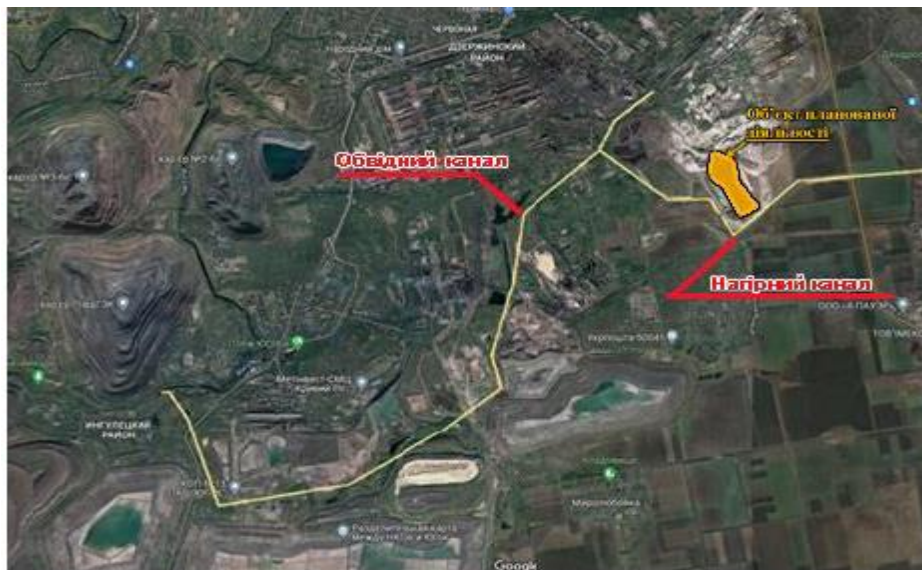


Рис. 2.2. Схема розташування нагірного та обвідного каналів на території полігону ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»
Джерело: [29]

Обвідний канал, що приймає стоки з нагірного каналу та прилеглих територій, є основним водним артерієм, через який відбувається відведення виробничих та поверхневих вод у річку Інгулець. Хімічний аналіз вод обвідного каналу показує підвищені концентрації хлоридів, сульфатів, сухого залишку, а також наявність нафтопродуктів і заліза, що характерно для промислових зон. Проте, порівняння якості води річки Інгулець вище і нижче місця скиду свідчить про мінімальний внесок стоків обвідного каналу у загальне забруднення річки (табл. 2.7).

Таблиця 2.7

Порівняльна характеристика основних показників якості води (середньорічні значення)

Показник	Нагірний канал (мг/дм ³)	Обвідний канал (мг/дм ³)	Річка Інгулець вище скиду (мг/дм ³)	Річка Інгулець нижче скиду (мг/дм ³)	ГДК (мг/дм ³)
рН	7,9–8,2	7,9–8,3	8,1–8,4	8,0–8,3	6,5–8,5
Сухий залишок	1186–1705	1700–2540	1700–2540	1700–2540	1000
Хлориди	185–296	350–755	360–754	494–829	350
Сульфати	387–672	530–627	530–627	530–627	500
Нітрати	4–10	2,6–6,2	2,6–6,2	2,6–6,2	45
Азот амонійний	0,1–0,3	0,2–0,4	0,2–0,4	0,2–0,4	2
БСК ₅	3,5–4,3	3,0–4,5	3,0–4,5	3,0–4,5	3,5
ХСК	27–29	29–39	29–39	29–39	30
Нафтопродукти	0,15–0,32	0,2–1,5	0,02–0,09	0,02–0,09	0,3

Залізо загальне	0,1–0,3	0,4–1,8	0,19–0,27	0,19–0,27	0,3
-----------------	---------	---------	-----------	-----------	-----

Джерело: [18]

Регулярні моніторингові дослідження вказують на стабільність параметрів якості поверхневих вод, а також на відсутність перевищень нормативів за більшістю показників, крім незначних перевищень за хлоридами, сульфатами та сухим залишком, які не мають безпосереднього зв'язку з пиловими відкладеннями, а скоріше відображають комплексний антропогенний вплив.

Підземні води в зоні впливу характеризуються хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатним типом з різною мінералізацією, що відповідає природним геохімічним умовам регіону. Водопоглинальні властивості великотоннажних відходів, які зберігаються на полігоні, сприяють утриманню вологи і запобігають проникненню пилу та розчинених речовин у глибші горизонти.

Ізоляційні шари, геосинтетичні бар'єри та система дренажу, що функціонують на полігоні, забезпечують ефективне запобігання фільтрації потенційно забруднених вод у підземні горизонти. Моніторинг рівня ґрунтових вод і їх хімічного складу демонструє стабільність параметрів і відсутність негативного впливу з боку полігону.

Враховуючи значну віддаленість водних об'єктів, комплексний вплив промислової зони, а також реалізовані заходи щодо контролю пилу і стоків, вплив пилових відкладень з полігону на водне середовище є мінімальним і не призводить до значущих змін у якісному складі поверхневих та підземних вод.

Діяльність ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» не передбачає додаткового відведення земельних ділянок, а на території майданчика відсутній родючий шар ґрунту, що суттєво знижує ризики деградації землі внаслідок пилових відкладень. Для захисту прилеглих територій від можливого негативного впливу фільтраційних вод із карт-накопичувачів застосовано комплекс інженерних заходів: дренажні трубопроводи, укладені по дну карт, а також ізоляційний екран, що забезпечує мінімізацію проникнення забруднюючих речовин у ґрунтові горизонти.

З метою зменшення пиловиділення на об'єкті реалізується комплекс протипилових заходів, що включають зрошення водою зон бульдозерних робіт, місць перевантаження відходів, територій карт полігону, а також полив автомобільних доріг. Ці заходи сприяють зниженню розповсюдження пилу на прилеглі земельні ділянки та зменшують потенційний вплив на ґрунтовий покрив.

Оцінка ступеня деградації ґрунтів здійснюється за двома основними критеріями: порівнянням концентрації хімічних елементів із фоновими значеннями (еталоном) та зі встановленими гігієнічними допустимими концентраціями (ГДК). Для цього використовуються коефіцієнти концентрації (K_c) та коефіцієнти небезпеки (K_n), які розраховуються за формулами [18]:

$$K_c = \frac{C_{\text{сел}}}{C_{\text{ф}}} \quad (2.3)$$

$$K_n = \frac{C_{\text{сел}}}{\text{ГДК}} \quad (2.4)$$

де Сел – вміст елемента у ґрунті,
 Сф – фоновий вміст,
 ГДК – гігієнічна допустима концентрація.

Моніторинг стану ґрунтів у п’яти контрольних точках на прилеглий території ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» протягом 2019-2024 років показав, що концентрації основних хімічних елементів та сполук не перевищують встановлених нормативів і знаходяться нижче регіональних фонових значень (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

Показники концентрації хімічних елементів у ґрунтах прилеглої території ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (мг/кг)

Показник	ГДК (мг/кг)	Фонові концентрації	Середнє значення 2019–2024	Коефіцієнт небезпеки (Кн) 2024	Коефіцієнт концентрації (Кс) 2024
Залізо	–	–	17093	–	–
Магній	–	–	–	–	–
Нітрати	130	–	4,35	0,033	–
Кальцій	–	–	–	–	–
Нафтопродукти	500	–	0,48	0,07	–
Хром	–	100	33,7	–	0,27
Марганець	1500	700	25,7	0,016	0,04
Мідь	140	30	97,1	0,69	3,24
Сірка	6	–	0,48	0,08	–

Джерело: [18]

Значення коефіцієнтів небезпеки за 2024 рік коливаються в межах 0,016-0,08, що свідчить про низький рівень накопичення забруднювачів у ґрунтах, незважаючи на загальне техногенне та сільськогосподарське навантаження району.

Враховуючи комплекс протифільтраційних заходів, систематичний моніторинг та результати хімічного аналізу ґрунтових проб, можна зробити висновок, що діяльність ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» не спричиняє погіршення якості земельних ресурсів і не призводить до деградації ґрунтів у зоні впливу пилових викидів.

Оцінювання впливу викидів шкідливих речовин на стан атмосферного повітря виконувалося на основі моделювання процесів розсіювання забруднювачів у приземному шарі атмосфери. Для цього застосовано програмний комплекс «ЕОЛ Плюс», який реалізує методику ОНД-86, що передбачає розрахунок концентрацій шкідливих речовин у повітрі, що містяться у викидах промислових підприємств.

Розрахункова площа охоплювала територію розміром 30 км на 25 км із кроком сітки 250 м, що відповідає вимогам нормативів для підприємств відповідного класу. Враховувалися різні швидкості вітру, а також висота

джерел викидів, що дозволило моделювати найбільш несприятливі метеорологічні умови для поширення забруднюючих речовин.

Для обґрунтування необхідності проведення розрахунків застосовували нерівність, що порівнює сумарний масовий викид з гранично допустимими концентраціями (ГДК) із врахуванням висоти джерел. За результатами аналізу визначено, що для пилу, оксидів азоту, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, неметанових легких органічних сполук та бензапирену доцільно виконати детальні розрахунки розсіювання, тоді як для інших речовин (наприклад, оксид азоту N₂O, аміак, вуглекислий газ, метан) розрахунки не проводилися через недостатність потенційного впливу (табл. 2.9).

Контрольні точки для оцінки концентрацій розташовані як на межі санітарно-захисної зони (СЗЗ) підприємства, так і в найближчих житлових кварталах.

Таблиця 2.9

Максимальні приземні концентрації основних забруднюючих речовин у контрольних точках (у долях ГДК)

№ точки	Координати (X, Y), м	Пил у вигляді суспендованих твердих частинок	Оксиди азоту (NO _x)	Діоксид сірки (SO ₂)	Оксид вуглецю (CO)	Бенз(а)пирен
		Планова діяльність	Всі джерела без фону	З урахуванням фону	Планова діяльність	Всі джерела без фону
12	15409, 7250	0,040	1,056	1,841	0,031	0,684
13	15238, 6000	0,189	1,513	2,299	0,076	0,626
14	15000, 5084	0,201	1,360	2,145	0,076	0,673
16	13500, 4202	0,032	0,929	1,714	0,031	0,535
17	13000, 2806	0,012	1,097	1,882	0,010	0,441
208	13780, 3474	0,022	0,945	1,731	0,019	0,473
209	13504, 2973	0,015	1,000	1,781	0,013	0,445
вул. Акмолінська	14787, 4120	0,044	0,764	1,549	0,033	0,510
ст. Батуринська	18000, 7158	0,010	0,823	1,609	0,008	0,469

Джерело: [18]

Результати моделювання показали, що максимальні концентрації пилу в межах СЗЗ становлять від 1,05 до 1,51 ГДК без урахування фонового забруднення, а з урахуванням фону – від 1,84 до 2,30 ГДК. Водночас у житлових районах перевищень ГДК пилу без урахування фону не зафіксовано, але з урахуванням фонового забруднення спостерігаються значення від 1,61 до 1,78 ГДК. Основний внесок у загальний рівень забруднення роблять не лише

джерела об'єкта планованої діяльності, а й інші підприємства, розташовані на прилеглих промислових майданчиках.

Щодо інших забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю, неметанові легкі органічні сполуки та бенз(а)пирен, розрахунки показали, що їхні приземні концентрації не перевищують встановлені нормативи (1 ГДК) як на межі СЗЗ, так і в житлових зонах.

Отримані результати відображають максимально можливий рівень забруднення за умов найбільш несприятливої метеорологічної ситуації, тому фактичний стан атмосферного повітря у районі розташування підприємства, підтверджений моніторинговими даними, є кращим. Внесок об'єкта планованої діяльності в загальний рівень забруднення повітря є незначним і не призводить до погіршення якості атмосферного повітря.

Проведений аналіз впливу пилових викидів ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» свідчить про те, що, незважаючи на значний обсяг викидів, їхній вплив на якість атмосферного повітря, ґрунтів та водних ресурсів залишається контрольованим і не перевищує нормативних показників у житлових зонах. Ефективність впроваджених природоохоронних заходів, зокрема систем пилоподавлення, сортування відходів і інженерних бар'єрів, забезпечує мінімізацію негативного екологічного навантаження. Своєчасна сплата екологічного податку стимулює підприємство до подальшої модернізації технологій та зниження забруднення навколишнього середовища. Загалом, діяльність підприємства відповідає вимогам сталого розвитку та екологічної безпеки регіону.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЗАВХОДІВ ПО ЗМЕНШЕННЮ ПИЛОВИХ ВИКИДІВ В УМОВАХ ДРОБАРНОГО ЦЕХУ № 1 ПРАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»

Календарне планування проекту – це процес розробки детального графіка виконання всіх етапів і завдань проекту з визначенням конкретних строків їх початку та завершення. Воно включає послідовне розподілення робіт у часі, встановлення взаємозв'язків між завданнями, а також планування ресурсів і контрольних точок, що дозволяє ефективно координувати діяльність учасників проекту, забезпечувати своєчасне досягнення цілей і оптимізувати використання наявних ресурсів.

Планування екологічного проекту на металургійному підприємстві – це комплексний процес визначення цілей, завдань, заходів та ресурсів, спрямованих на покращення екологічного стану виробництва та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище. Він передбачає аналіз чинного екологічного стану підприємства, оцінку потенційних ризиків і забруднень, розробку стратегій і технологічних рішень для зменшення викидів шкідливих речовин, оптимізацію використання природних ресурсів, впровадження систем моніторингу та контролю забруднень, а також визначення строків, бюджету і відповідальних осіб для реалізації заходів. Такий підхід забезпечує систематичне та ефективне управління екологічними аспектами діяльності металургійного підприємства, сприяючи дотриманню нормативних вимог і підвищенню екологічної безпеки [3, с. 107].

Цілі календарного графіка:

- Чітке визначення строків виконання завдань – встановлення конкретних дат початку і завершення кожного етапу проекту для забезпечення своєчасного виконання робіт.

- Координація дій учасників проекту – узгодження послідовності і взаємозв'язків між завданнями для ефективної взаємодії команд і виконавців.

- Оптимізація використання ресурсів – планування залучення матеріальних, фінансових та людських ресурсів у відповідні періоди для уникнення їх перевантаження або простою.

- Контроль і моніторинг прогресу – створення основи для відстеження фактичного виконання робіт у порівнянні з планом, що дозволяє вчасно виявляти відхилення і коригувати дії.

- Підвищення ефективності управління проектом – забезпечення прозорості та впорядкованості процесу реалізації проекту, що сприяє досягненню поставлених цілей у заплановані терміни.

Розробимо календарний план проекту у табличній формі (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Календарний план проекту

Код роботи	Види робіт	Тривалість, дні	Дата початку	Дата кінця
1.1	Аналіз існуючого стану пилових викидів у дробарному цеху №1; збір та обробка даних про пилові викиди.	7	01.07.2025	07.07.2025
1.2	Визначення основних джерел пилових викидів; технологічне обґрунтування джерел пилу.	5	08.07.2025	12.07.2025
1.3	Розробка концепції комплексного плану заходів зі зменшення пилових викидів.	4	13.07.2025	16.07.2025
2.1	Проектування циклонів типу СЮП для встановлення на перевантажувальному вузлу №36 (АУ-36).	10	17.07.2025	26.07.2025
2.2	Розробка технічних рішень модернізації аспіраційних систем (заміна фільтрів, оновлення вентиляції).	8	17.07.2025	24.07.2025
2.3	Проектування систем зрошування сировини перед дробленням.	6	25.07.2025	30.07.2025
2.4	Розробка конструкцій герметичних кожухів для ущільнення транспортних систем.	7	31.07.2025	06.08.2025
2.5	Планування впровадження автоматизованого моніторингу пилових викидів.	5	31.07.2025	04.08.2025
3.1	Організація закупівлі обладнання та матеріалів (циклонів, фільтрів, насосного обладнання, датчиків).	10	05.08.2025	14.08.2025
3.2	Підготовка монтажних та пусконаладжувальних робіт.	7	15.08.2025	21.08.2025
3.3	Розробка програми навчання персоналу та стандартів експлуатації систем очищення.	6	15.08.2025	20.08.2025
4.1	Монтаж та введення в експлуатацію циклонів СЮП на АУ-36.	9	22.08.2025	30.08.2025
4.2	Виконання модернізації аспіраційних систем на вузлах АУ-31-1, АУ-31-2, АУ-39.	10	22.08.2025	31.08.2025
4.3	Встановлення систем зрошування сировини.	7	01.09.2025	07.09.2025
4.4	Монтаж герметичних кожухів на транспортних лініях.	7	01.09.2025	07.09.2025
4.5	Впровадження автоматизованого моніторингу пилових викидів.	6	08.09.2025	13.09.2025
4.6	Проведення навчальних тренінгів для персоналу.	5	08.09.2025	12.09.2025
5.1	Контроль ефективності роботи встановлених систем та оцінка зменшення пилових викидів.	10	14.09.2025	23.09.2025
5.2	Виявлення недоліків та коригування технологічних і організаційних заходів.	7	24.09.2025	30.09.2025
5.3	Підготовка звітності щодо екологічних та економічних результатів проекту.	5	01.10.2025	05.10.2025
5.4	Розробка рекомендацій щодо подальшого впровадження та масштабування заходів.	4	06.10.2025	09.10.2025

Джерело: розроблено автором

Розроблений календарний план проекту зі зменшення пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» відображає послідовність та логіку виконання основних етапів робіт – від аналітичного дослідження і проектування до закупівлі обладнання, монтажу, навчання персоналу та контролю ефективності впроваджених заходів. Визначена тривалість і чіткі часові рамки виконання кожного виду робіт забезпечують системний підхід до реалізації проекту, що сприяє оптимальному використанню ресурсів та своєчасному досягненню поставлених екологічних цілей. Особлива увага приділена інтеграції різних підрозділів підприємства та залученню зовнішніх підрядників, що підвищує якість і ефективність виконання завдань. Впровадження такого структурованого календарного графіка сприятиме не лише зниженню пилових викидів до нормативних рівнів, а й покращенню умов праці, екологічної безпеки та конкурентоспроможності підприємства, що є важливим чинником сталого розвитку регіону.

3.1. Розробка комплексного плану заходів зі зменшенням виділення та утворення пилу

Пилові викиди є однією з головних екологічних проблем металургійних і гірничодобувних підприємств, адже саме вони становлять значну частку забруднення атмосферного повітря у промислових регіонах. У процесі дроблення, транспортування та просіювання рудної маси утворюється велика кількість пилу, який містить дрібнодисперсні частинки оксидів заліза, кварцу, марганцю, алюмінію та інших мінералів. Ці частинки легко проникають у дихальні шляхи людини, осідають у легенях і спричиняють розвиток професійних захворювань, серед яких силікоз, пневмоконіоз, хронічний бронхіт і бронхіальна астма. Окрім впливу на здоров'я працівників, пилові викиди мають суттєвий негативний вплив на навколишнє середовище - вони осідають на поверхні ґрунтів, водних об'єктах, рослинності, знижуючи їхню біологічну активність, і погіршують загальний стан екосистем. У регіонах, де розташовані рудозбагачувальні фабрики, зазвичай спостерігається підвищена захворюваність населення на респіраторні недуги. Таким чином, зменшення пилових викидів у дробарних цехах є не лише виробничим, а й соціально-екологічним завданням.

Дробарний цех №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є одним із головних джерел пилових викидів підприємства. Основними процесами, що спричиняють запылення повітря, є первинне й вторинне дроблення руди, транспортування конвеєрними лініями, перевантаження у бункери, живильники, а також просіювання матеріалу. Найбільше пилу утворюється під час падіння частинок з висоти, у місцях пересипання руди з одного конвеєра на інший і при механічному руйнуванні кусків породи. Концентрація пилу в таких зонах може у десятки разів перевищувати гранично допустимі концентрації, визначені санітарними нормами. Через високу турбулентність повітряного потоку пил розповсюджується по всьому приміщенню цеху,

створюючи стійку хмару завислих частинок. Значна частина пилу потрапляє в атмосферу через вентиляційні канали або відкриті технологічні прорізи.

Вплив пилових викидів на обладнання не менш небезпечний, ніж на здоров'я людини. Дрібні абразивні частинки спричиняють підвищене зношування підшипників, ущільнень, електричних контактів, що веде до частих ремонтів і простоїв техніки. Крім того, пилова суміш може бути вибухонебезпечною у присутності горючих домішок. Тому забезпечення ефективного пилоподавлення - це не лише питання екології, а й промислової безпеки.

На сьогодні у дробарних цехах використовуються різні методи пилоподавлення, серед яких найпоширенішими є механічні, аспіраційні, зрошувальні та комбіновані системи. Механічні методи полягають у встановленні кожухів, укриттів, шлюзових камер, які локалізують джерела пилу. Вони прості у виконанні, однак не забезпечують повного запобігання поширенню дрібнодисперсного пилу. Аспіраційні системи передбачають відсмоктування запиленого повітря з подальшим очищенням у фільтрах або циклонах. Цей метод має високу ефективність, але характеризується значним енергоспоживанням і потребує постійного обслуговування. Зрошувальні установки, які використовують водяні або пінні форсунки, осаджують пил за рахунок змочування частинок водою, проте їх ефективність залежить від вологості та фізичних властивостей руди. Найкращі результати дає комбіноване застосування всіх зазначених методів.

На основі аналізу сучасних технологій пилоподавлення запропоновано вдосконалений варіант аспіраційного укриття, який поєднує переваги аспіраційних, механічних і зрошувальних систем. Конструкція передбачає використання двох аспіраційних укриттів - верхнього та нижнього, з'єднаних обвідним каналом, через який рухається повітряний потік із пилом. У системі встановлено гідравлічну форсунку, яка створює водоповітряну завісу і забезпечує зволоження гірничої маси. При роботі конвеєрів гірнича маса переміщується по завантажувальному жолобу, а повітря, що рухається разом із пилом, потрапляє в нижнє укриття. Завдяки дії форсунки відбувається ежекційна тяга, пил зв'язується краплями води та осідає на руді, яка далі транспортується по конвеєру. Таким чином, створюється замкнений цикл руху повітря, що запобігає викиду пилу в робочу зону.

Удосконалення конструкції аспіраційних укриттів передбачає також використання волоконних штор, закріплених усередині корпусу. Вони слугують додатковим фільтрувальним елементом: частинки пилу осідають на волокнах і періодично струшуються за допомогою спеціального механізму, після чого повертаються до матеріалу, що транспортується. Така система дозволяє зменшити навантаження на основні фільтраційні елементи та знизити витрати на обслуговування.

Окрім цього, у проекті передбачено поєднання водяного та пінного пилоподавлення. Водяні форсунки створюють дрібнодисперсний туман, який ефективно зв'язує частинки пилу, а пінне покриття утворює на поверхні матеріалу стабільний шар, що запобігає повторному підйому пилу в повітря.

Застосування таких технологій дозволяє зменшити запиленість на 60–70%, що відповідає сучасним екологічним стандартам.

Додатковим елементом системи є автоматизований моніторинг запиленості, який здійснюється за допомогою датчиків, встановлених у різних зонах дробарного цеху. Інформація з них надходить у систему керування, яка автоматично регулює роботу вентиляторів і форсунок залежно від рівня пилу. Це дає змогу оптимізувати енергоспоживання, уникнути перевитрат води та забезпечити стабільну ефективність пилоподавлення протягом усього робочого циклу.

Впровадження нових аспіраційних укриттів має низку технічних і екологічних переваг. По-перше, герметизація основних джерел пилоутворення зменшує поширення пилу в робочу зону та атмосферу. По-друге, система рекуперації пилу дозволяє збирати й утилізувати його без додаткових втрат, використовуючи уловлений матеріал повторно у технологічному процесі. По-третє, скорочуються витрати на прибирання приміщень і обслуговування вентиляційного обладнання. По-четверте, поліпшуються умови праці персоналу: знижується концентрація шкідливих домішок у повітрі, зменшується ризик професійних захворювань і підвищується загальний комфорт праці.

З екологічної точки зору, зниження запиленості повітря сприяє зменшенню осідання пилу на рослинності, ґрунтах та водних об'єктах. Це позитивно впливає на стан біоценозів у зоні впливу підприємства та сприяє покращенню екологічного іміджу компанії. Крім того, зменшення обсягу пилових викидів допомагає уникнути штрафних санкцій і відповідає вимогам чинного природоохоронного законодавства України.

Проблема пилоутворення у дробарному цеху № 1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є одним із ключових чинників негативного впливу на довкілля та умови праці персоналу. У процесі дроблення, пересипання та транспортування магнетитових кварцитів утворюється значна кількість твердих механічних частинок, які потрапляють у повітря робочої зони, створюючи підвищену запиленість. Згідно з проведеними дослідженнями, концентрація пилу на окремих ділянках може перевищувати допустимі норми у 3–5 разів. Це зумовлює необхідність розробки комплексу технічних і технологічних заходів, спрямованих на зменшення пилових викидів та покращення екологічного стану виробництва.

Одним із головних напрямів удосконалення системи очищення повітря є модернізація аспіраційних установок та створення локальних укриттів у місцях найбільш інтенсивного пилоутворення. Відомо, що до 80 % пилу утворюється саме в точках пересипання матеріалу між конвеєрними стрічками та під час завантаження дробарок. У цих зонах доцільно використовувати спеціальні укриття з волоконними шторами (рис. 3.1). Такі штори утворюють еластичний бар'єр, що зменшує швидкість виходу запиленого повітря і забезпечує його осадження на волокнах. Пил, який осів, періодично видаляється за допомогою механізму струшування, що мінімізує його повторне потрапляння у робочу зону.

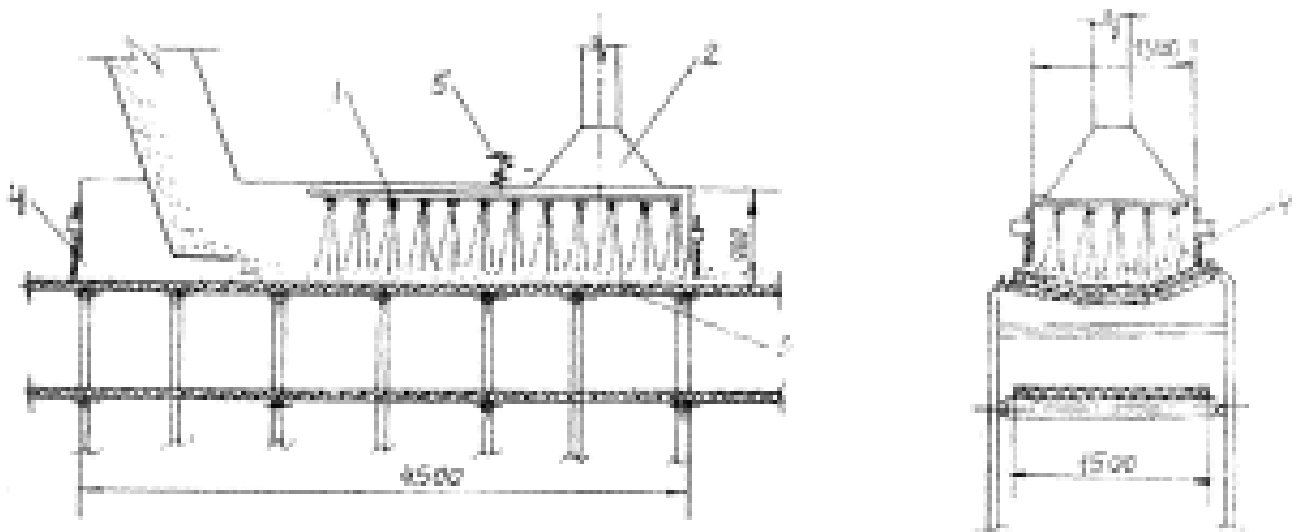


Рис. 3.1. Схема укріплення перевантажувального вузла з волоконною шторою.

1-волоконна штора; 2-відсмоктувальна вирва; 3-конвеєрна стрічка 4-уцілювання; 5-струшуючий механізм

Важливим конструктивним рішенням є герметизація пересипних течок і бункерів. Для цього застосовуються ущільнювальні кожухи з еластичними вставками, які запобігають неконтрольованому виходу пилу в атмосферу. У поєднанні з аспіраційним відсмоктуванням ці заходи забезпечують зниження концентрації пилу до 10–15 мг/м³ у робочій зоні, що відповідає вимогам санітарних норм ДСП 201-97. Для підвищення ефективності аспіраційних систем необхідно забезпечити рівномірне відсмоктування повітря по всій довжині повітропроводів, уникнувши надлишкового розрідження у ближніх гілках.

Повні втрати тиску в системі аспірації визначаються за формулою:

$$\Delta P = R \cdot L + \sum \xi \cdot (\rho v^2 / 2), \quad (3.1)$$

де R - питомі втрати тиску на тертя, Па/м;

L - довжина повітропроводу, м;

ξ - коефіцієнти місцевих опорів;

ρ - густина повітря, кг/м³;

v - швидкість повітря, м/с.

Для запобігання надмірному падінню тиску у кінцевих точках магістралі застосовуються трійники з кутом приєднання 25°, що забезпечує плавний розподіл потоку (рис. 3.2).

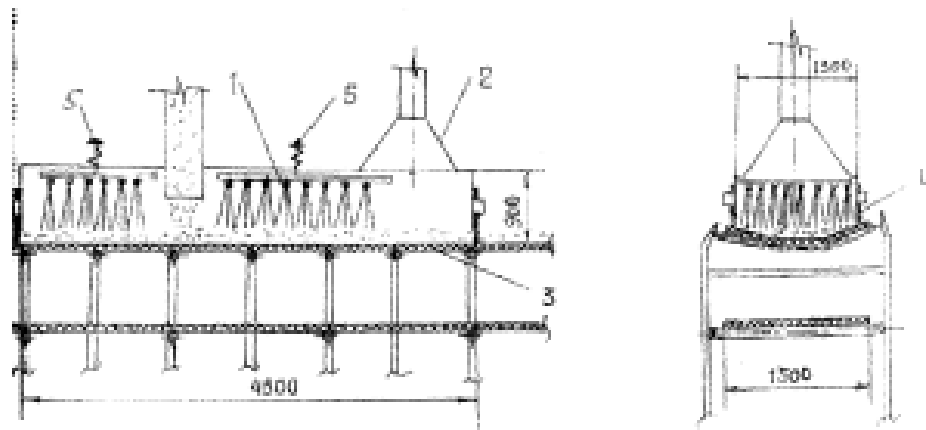


Рис. 3.2. Повітропровід аспіраційної системи з рівномірним відсмоктуванням повітря

2-відсмоктувальна вирва; 3-конвеєрна стрічка; 4-ущільнення; 5-струшуюче хутро; 7-волоконна штора

Діаметр повітропроводу визначається залежно від об'ємної витрати повітря:

$D = \sqrt{(4Q / \pi v)}$, де Q - витрата повітря, $\text{м}^3/\text{с}$. Для аспіраційних систем дробарного цеху приймається середня швидкість $v = 18\text{--}20 \text{ м/с}$, що забезпечує стійке транспортування пилу без осідання частинок у трубопроводах.

Загальні енергетичні втрати у системі визначають потужність, необхідну для роботи вентилятора:

$$N = (\Delta P \cdot Q) / (102 \cdot \eta), \quad (3.2)$$

де η - коефіцієнт корисної дії установки (0,85–0,9).

Для прийнятої витрати $Q = 3000 \text{ м}^3/\text{год}$ і втрат тиску $\Delta P = 1200 \text{ Па}$ потужність вентилятора становитиме близько 4,3 кВт. Таким чином, раціональним є використання електродвигуна типу АІР100S2 потужністю 4 кВт з частотою обертання 2850 об/хв.

Особливу роль у зниженні пилових викидів відіграють пиловловлювачі різних типів. Для попереднього очищення повітря від крупних частинок ($> 15 \text{ мкм}$) застосовують циклони типу СІОП або батарейні циклони. Принцип їхньої роботи ґрунтується на використанні відцентрової сили, що діє на частинки пилу при обертанні повітряного потоку.

Для тонкого очищення повітря використовують рукавні фільтри. У таких установках запилене повітря проходить крізь тканинні рукави, де частинки затримуються у волокнах фільтруючого матеріалу. Ефективність очищення сягає 98–99 %, а опір фільтра коливається від 500 до 2500 Па. Для зменшення енергоспоживання використовуються системи імпульсного струшування рукавів, що дозволяють підтримувати стабільний перепад тиску. Матеріалом для рукавів є поліамідні або поліефірні тканини, стійкі до температури до 120 °С.

Додатково застосовуються електрофільтри, що забезпечують найвищий ступінь очищення - до 99,9 %. Їхня дія базується на іонізації газоповітряного потоку у полі постійного струму напругою 50–100 кВ. Заряджені частинки осідають на позитивних електродах, після чого видаляються шляхом струшування.

Вибір типу пиловловлювального обладнання залежить від гранулометричного складу пилу. За результатами досліджень, поданими в таблиці 3.1, основну масу утворюють частинки дрібної фракції (< 0,1 мм), які важко видаляються механічними способами.

Таблиця 3.2

Фракційний склад пилу у дробарному цеху № 1

Розмір частинок, мм	Вміст, %
< 0,05	3,22
0,05–0,063	9,95
0,063–0,1	75,67
0,1–0,16	4,39
0,16–0,2	4,02
0,2–0,315	1,32
0,315–0,4	0,19
0,4–0,63	0,19

Як видно, понад 85 % пилу складають частки розміром менше 0,1 мм, що вимагає використання вискоєфективних фільтраційних методів. Для таких умов оптимальним є поєднання циклону (як попереднього ступеня) та рукавного фільтра (для тонкого очищення).

Сумарна витрата повітря, необхідна для нормальної роботи аспіраційної системи дробарного цеху, розраховується за формулою:

$$Q_{\Sigma} = \sum Q_i, \quad (3.3)$$

де Q_i - витрата повітря на окремій ділянці відсмоктування, м³/год;

n - кількість укриттів.

Опір циклона визначається за формулою:

$$H_c = \xi_c \cdot (\rho v c^2 / 2),$$

де $\xi_c = 5,2$ - коефіцієнт опору циклона;

$$v c = 10,6 \text{ м/с};$$

$$\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3.$$

Для всієї системи, враховуючи опір трубопроводів, дифузора та конфузора, сумарні втрати тиску становлять близько 1200–1400 Па, що відповідає оптимальним умовам роботи вентилятора середнього тиску.

Ефективність роботи аспіраційної системи можна визначити за співвідношенням:

$$\eta = ((C_1 - C_2) / C_1) \cdot 100 \%, \quad (3.4)$$

де С1 - початкова концентрація пилу до очищення, мг/м³;
С2 - концентрація після очищення, мг/м³.

Реалізація наведених технічних рішень дозволяє досягти комплексного ефекту: зниження пилових викидів у навколишнє середовище на 40–45 %, покращення умов праці у дробарному цеху, зменшення витрат на обслуговування фільтрів, відповідність європейським екологічним стандартам ISO 14001.

У контексті сучасних вимог до екологічної безпеки та сталого розвитку гірничо-металургійних підприємств, зниження рівня пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є стратегічним пріоритетом. Аналіз технологічних процесів та джерел пилоутворення свідчить про значне забруднення атмосферного повітря твердими механічними частинками, що формуються під час дроблення, транспортування та пересипання магнетитових кварцитів. Незважаючи на наявність аспіраційних систем, ефективність очищення варіюється від 0 до 95 %, що свідчить про необхідність комплексного підходу до зменшення пилоутворення на всіх етапах виробничого процесу.

У зв'язку з цим у табл. 3.2 розробимо науково-обґрунтований план заходів, спрямований на мінімізацію пилоутворення та викидів у дробарному цеху №1, зокрема шляхом модернізації існуючих систем аспірації, впровадження нових технологій очищення повітря, а також організаційно-технічних рішень, що знижують інтенсивність пилоутворення на джерелі.

Таблиця 3.3

Комплексний план заходів зі зменшення виділення та утворення пилу у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

№ з/п	Напрямок заходу	Зміст заходу	Технологічне обґрунтування	Очікуваний ефект
1	Проектування та встановлення циклонів СЮП	Встановлення циклонів типу СЮП на перевантажувальному вузлу №36 (АУ-36) як первинного ступеня очищення	Відсутність очищення на АУ-36 призводить до прямого викиду пилу в атмосферу (1,613 т/рік)	Зниження викидів на 85-90 %, зменшення пилового навантаження на 1,37 т/рік
2	Модернізація аспіраційних систем	Заміна зношених фільтрів, оновлення вентиляційного обладнання на АУ-31-1, АУ-31-2, АУ-39	Низька ефективність очищення (71,8-82,1 %) на окремих вузлах	Підвищення ефективності очищення до 95 %, зменшення викидів на 30-50 т/рік

Продовження таблиці 3.3

№ з/п	Напрямок заходу	Зміст заходу	Технологічне обґрунтування	Очікуваний ефект
3	Зрошування сировини перед дробленням	Встановлення систем зрошування на вхідних бункерах дробарок	Зниження пилоутворення за рахунок збільшення вологості матеріалу до 12-14 %	Зменшення пилових викидів на 20-30 % на джерелі
4	Ущільнення транспортних систем	Встановлення герметичних кожухів на конвеєрах, перехідників, бункерах	Пил утворюється при відкритому пересипанні матеріалів	Зменшення неконтрольованих викидів на 40 %
5	Автоматизований моніторинг пилових викидів	Встановлення безперервних систем контролю концентрації пилу (лазерні датчики, димоходові газоаналізатори)	Відсутність оперативного контролю ефективності очищення	Підвищення точності контролю, зменшення аварійних викидів на 15 %
6	Навчання персоналу та впровадження стандартів експлуатації	Проведення тренінгів з технічного обслуговування аспіраційних систем, контролю за рівнем пилу	Людський фактор є однією з причин зниження ефективності очищення	Підвищення надійності роботи систем, зменшення простоїв

Джерело: розроблено автором

Для забезпечення рівномірного видалення пилу із зон пересипання та дроблення застосовуються місцеві аспіраційні установки. Основними джерелами пилоутворення є місця завантаження, пересипання, дроблення і транспортування руди. Вибір і проектування аспіраційних установок повинні ґрунтуватися на забезпеченні сталого розрідження по всій довжині повітропроводу. Рівномірне всмоктування запиленого повітря запобігає утворенню застійних зон і вторинному виносу пилу.

Комплексний план заходів, представлений у табл. 3.2, спрямований на системне зниження пилоутворення та пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» шляхом інтеграції інженерних, технологічних та організаційних рішень. Проектування та встановлення циклонів СІОП на перевантажувальному вузлу №36 дозволить усунути єдине джерело неконтрольованих викидів, забезпечивши ефективність очищення на рівні не нижче 85 %. Одночасно, модернізація існуючих аспіраційних систем, впровадження зрошування сировини, герметизація транспортних ліній та автоматизований моніторинг створять умови для сталого функціонування цеху з дотриманням екологічних нормативів.

Існують різні методи очищення повітря, що поділяються на сухі та мокрі. До них належать механічні (інерційні), фільтраційні (з використанням

тканинних, пористих, волокнистих та зернистих матеріалів), фізичні (електростатичні, акустичні) та хімічні (абсорбційні) методи.

Особливий інтерес представляють високоефективні конструкції, що використовуються в різних галузях промисловості, зокрема в металургії.

Для сухого очищення вентиляційного повітря від пилу застосовують інерційні пиловловлювачі, такі як циклони (рис. 3.3).

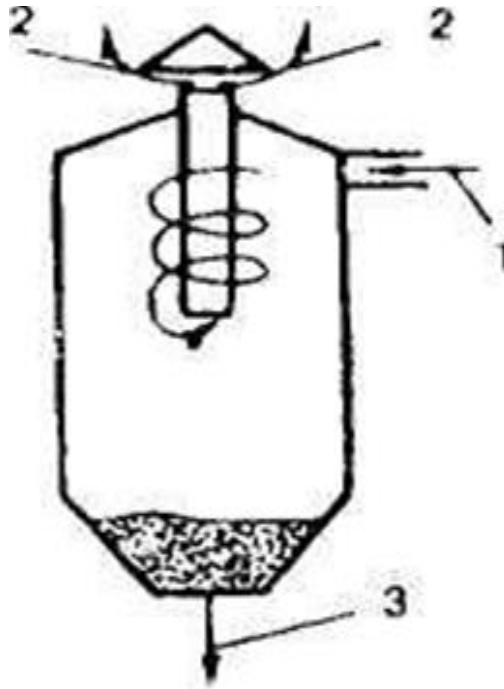


Рис. 3.2. Схема циклона:

1 – забруднений потік; 2 – очищений потік; 3 – уловлений пил.

Джерело: [22, с. 57]

Забруднене повітря подається в корпус циклона тангенціально зі швидкістю 17-20 м/с, створюючи обертальний рух для частинок пилу. Під дією відцентрової сили пил осідає на дно, звідки періодично видаляється, а очищене повітря виводиться через центральну трубу. Для обробки великих об'ємів повітря використовують батарейні або мультициклони. Циклони ефективні для попереднього очищення повітря від сухого, нелипкого пилу з розміром частинок понад 15-20 мкм (ефективність 95-99%) перед більш тонкими фільтрами, наприклад, електрофільтрами. Гідравлічний опір циклонів становить 400-700 Па.

Для більш тонкого очищення повітря від твердих і рідких частинок застосовують фільтри.

Ще одним варіантом очищувальних пристроїв є вихрові пиловловлювачі, які на відміну від циклонів оснащені допоміжним потоком. Робота такого пристрою полягає в тому, що забруднене повітря проходить по трубопроводу, а потім надходить у лопатковий завихрювач, де створюється інтенсивне закручування. Внаслідок дії відцентрових сил частинки пилу відкидаються до стінок корпусу, після чого під дією гравітації збираються у

бункері, а очищене повітря подається у виробничі приміщення через трубопроводи [22, с. 59]. Ілюстрація пристрою наведена на рис. 3.4.

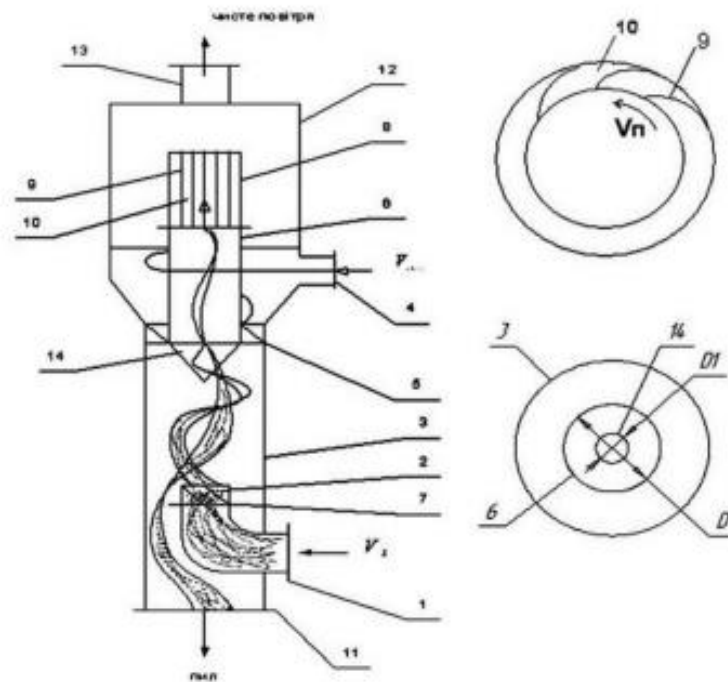


Рис. 3.4. Пиловловлювач

Джерело: [22, с. 59]

Жалюзійні пиловловлювачі мають конструкцію у вигляді ряду послідовно розташованих лопатей на корпусі так, щоб між ними утворювались щілини. Повітря подається через головний трубопровід, де випереджувальні лопаті сприяють відокремленню пилю. Під впливом інерційних сил частинки забруднень рухаються у напрямку трубопроводу очищення, звідки вже чисте повітря спрямовується у вихідну трубу. Цей тип пристрою застосовують для очищення газів із великою дисперсністю часток. Схема жалюзійного пиловловлювача представлена на рис. 3.5.

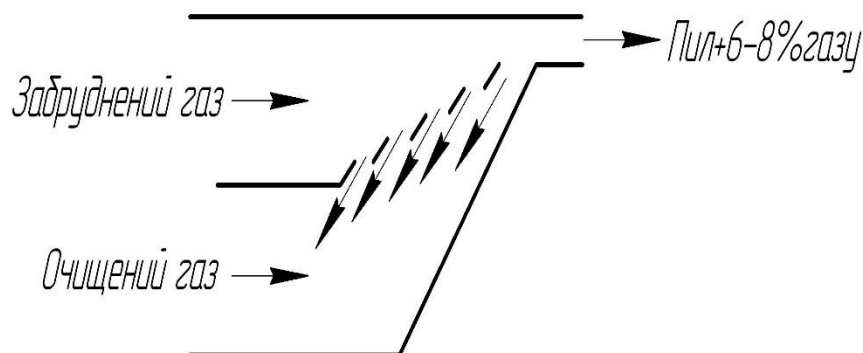


Рис. 3.5. Схема жалюзійного пиловловлювача

Джерело: [22, с. 60]

Ротаційний пиловловлювач очищує атмосферне повітря завдяки відцентровим силам, що виникають через обертання ротора. Конструктивно

це вентилятор, робота якого базується на цих силах: при обертанні частки забруднень осідають на поверхню диска, після чого збираються у пилозбірник.

Для очищення газоповітряних сумішей і збору дрібнодисперсного пилу користуються також електрофільтрами. Вони складаються із двох електродів: негативного коронованого і позитивного осаджуючого у вигляді пластини або трубки [11]. Схематичне зображення фільтра подано на рис. 3.6.

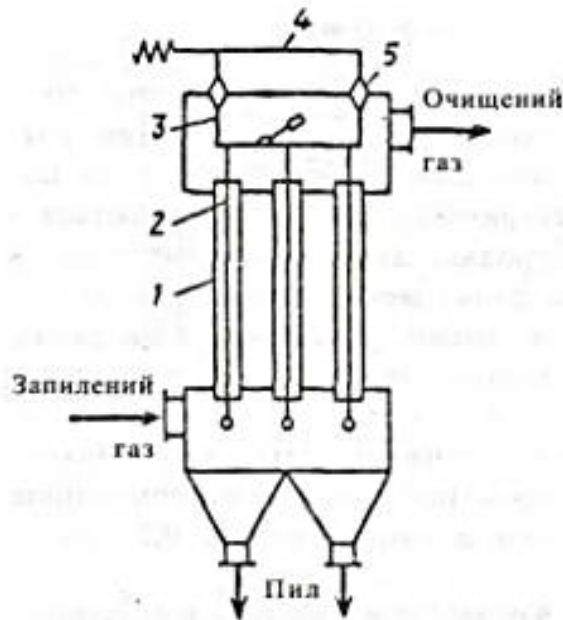


Рис. 3.6. Приклад електрофільтра

Джерело: [22, с. 61]

Електрофільтр працює при напрузі постійного струму 50-100 кВ. Якщо напруженість поля між електродами досягає 15 кВ/см, у повітрі утворюються позитивні та негативні іони, які заряджають забруднюючі частинки. Надалі заряди переміщують ці частинки до протилежно заряджених електродів, де вони осідають. Для видалення накопиченого пилу з поверхні електродів застосовуються спеціальні механізми струшування. Такий спосіб дозволяє очищати великі об'єми газів із частками розміром від 0,01 до 100 мкм при температурах до 500 °С. Ефективність очищення сягає 99,9%, проте він ефективний переважно для обробки газопотоків невеликого обсягу – наприклад, на окремих ділянках цеху, а не по всьому цеху загалом.

Загальна витрата повітря у схемі роботи дробарного цеху становить:

$$\sum Q = 1020 + 1020 + 360 = 2400 (\text{м}^3 / \text{ч}) \quad (3.5)$$

Тоді, згідно з отриманими витратами підбираємо циклон СІОП (Додаток А):

Виробництво: 3000 м³/год;

Висота: 2455 мм;

Маса: 102 кг.

Вихідна швидкість:

$$v_{ex} = \frac{Q}{S_{ex}} = \frac{2400}{3600 \times \frac{\pi \times 0,245^2}{4}} = 14,14 (м / с) \approx 14 (м / с) \quad (3.6)$$

Коефіцієнт опору циклона $\zeta_{ц}=5,2$.

Визначаємо опір циклона:

$$H_{ц} = \zeta_{ц} \times \frac{\rho \times v_{ex}^2}{2} = 5,2 \times \frac{1,2 \times 14^2}{2} = 611,5 (Па) \quad (3.7)$$

Дифузор на вході в циклон. Діаметр матеріалопровіда $D_m=225$ мм, $D_{ц.вх.}=245$ мм.

Тоді ступінь розширення дифузора дорівнює:

$$H_{оиф} = \zeta_{оиф} \times H_{д} = 0,66 \times 176,8 = 116,6 (Па) \quad (3.8)$$

Визначаємо коефіцієнт протидії дифузора при $\alpha=20^0$ і $n=1,25$: $\zeta_{диф}=0,66$.
Тоді втрати тиску в дифузорі:

$$H_{оиф} = \zeta_{оиф} \times H_{д} = 0,66 \times 176,8 = 116,6 (Па) \quad (3.9)$$

Швидкість на виході із циклона.

$$v_{ц} = (0,7 \dots 0,8) \times v_{ex} = 0,75 \times 14,14 = 10,6 (м / с) \quad (3.10)$$

Приймаємо: $v_{ц}=10,6$ м/с; $H_{д}=68,6$ Па; $R=5,06$ Па/м.

Приймаємо діаметр матеріалопроводу після циклона $D_m=225$ мм.

Конфузор на виході з циклону:

$$h_k = \frac{245 - 225}{2 \times tg \frac{45}{2}} = \frac{20}{0,83} = 24 (мм) \quad (3.11)$$

Коефіцієнт протидії конфузора [4, с. 101]:

$\alpha=45^0$, $h_k/D_6=24/225=0,1$, при $0,1$ $\zeta_k=0,20$

Витрати тиску в конфузорі:

$$H_{конф} = \zeta_k \times H_{д} = 0,20 \times 103,5 = 20,7 (Па) \quad (3.12)$$

Потужність для приводу вентилятора:

$$N_B = \frac{N_B \times H_B}{3600 \times 1000 \times \eta_B} = \frac{2400 \times 2168}{3600 \times 1000 \times 0,5} = 2,89(\kappa Bm) \quad (3.13)$$

Потужність електродвигуна:

$$N_{\circ} = \frac{k \times N_B}{\eta_1 \times \eta_2}, \quad (3.14)$$

де $\eta_1=0,98$ – ККД підшипників вентилятора;

$\eta_1=0,95$ – ККД клинопасної передачі;

$\eta_1=1,15$.

Тоді:

$$N_{\circ} = \frac{k \times N_B}{\eta_1 \times \eta_2} = \frac{1,15 \times 2,89}{0,98 \times 0,95} = 3,56(\kappa Bm) \quad (3.15)$$

Обираємо електродвигун AIP100S2 потужністю 4 кВт з частотою обертання 2850 об / хв. Очікуваний сумарний ефект від реалізації запропонованих заходів становить зниження сумарних пилових викидів на 35-45 %, що відповідає європейським стандартам промислової безпеки та екологічної відповідальності. Реалізація плану потребує координації зусиль інженерних служб, екологічного відділу та керівництва підприємства, а також фінансових інвестицій, які окупляться за рахунок зниження екологічного податку, зменшення витрат на обслуговування обладнання та покращення умов праці персоналу. У табл. 3.4 сформуємо етапи та зміст робіт проекту, що розробляється.

Таблиця 3.4

Етапи та зміст робіт проекту, що розробляється

Етапи роботи	Код, назва (зміст робіт)
1 етап	1.1. Аналіз існуючого стану пилових викидів у дробарному цеху №1.
	1.2. Визначення основних джерел пилових викидів та їх технологічне обґрунтування.
	1.3. Розробка концепції комплексного плану заходів зі зменшення пилових викидів.
2 етап	2.1. Проектування циклонів типу СЮП для встановлення на перевантажувальному вузлу №36 (АУ-36).
	2.2. Розробка технічних рішень модернізації аспіраційних систем (заміна фільтрів, оновлення вентиляції).
	2.3. Проектування систем зрошування сировини перед дробленням.
	2.4. Розробка конструкцій герметичних кожухів для ущільнення транспортних систем.

Продовження таблиці 3.4

Етапи роботи	Код, назва (зміст робіт)
	2.5. Планування впровадження автоматизованого моніторингу пилових викидів.
3 етап	3.1. Організація закупівлі обладнання та матеріалів (циклонів, фільтрів, насосного обладнання, датчиків).
	3.2. Підготовка монтажних та пусконаладжувальних робіт.
	3.3. Розробка програми навчання персоналу та стандартів експлуатації систем очищення.
4 етап	4.1. Монтаж та введення в експлуатацію циклонів СЮП на АУ-36.
	4.2. Виконання модернізації аспіраційних систем на вузлах АУ-31-1, АУ-31-2, АУ-39.
	4.3. Встановлення систем зрошування сировини.
	4.4. Монтаж герметичних кожухів на транспортних лініях.
	4.5. Впровадження автоматизованого моніторингу пилових викидів.
	4.6. Проведення навчальних тренінгів для персоналу.
	5.1. Контроль ефективності роботи встановлених систем та оцінка зменшення пилових викидів.
	5.2. Виявлення недоліків та коригування технологічних і організаційних заходів.
	5.3. Підготовка звітності щодо екологічних та економічних результатів проекту.
	5.4. Розробка рекомендацій щодо подальшого впровадження та масштабування заходів.

Джерело: розроблено автором

Розроблена структура етапів та змісту робіт проекту зі зменшення виділення та утворення пилу у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» забезпечує системний та послідовний підхід до реалізації комплексного плану заходів. Такий підхід гарантує не лише зниження пилових викидів до нормативних рівнів, але й підвищення економічної ефективності та соціальної відповідальності ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Команда проекту створюється на період реалізації проекту і після його завершення розпускається, або фахівці створюють нову команду під новий проект. Визначимо виконавців проекту та занесемо інформацію до табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Організація виконання проектних робіт

Код роботи	Перелік робіт	Організаційна одиниця (виконавець)
1.1	1. Аналіз існуючого стану пилових викидів у дробарному цеху №1.	Відділ екології, технологічний відділ
	2. Збір та обробка даних про пилові викиди.	Відділ екології
1.2	1. Визначення основних джерел пилових викидів.	Технологічний відділ
	2. Технологічне обґрунтування джерел пилу.	Технологічний відділ, відділ охорони праці
1.3	1. Розробка концепції комплексного плану заходів зі зменшення пилових викидів.	Проектний відділ, відділ екології
2.1	1. Проектування циклонів типу СЮП для встановлення на перевантажувальному вузлу №36 (АУ-36).	Проектний відділ, зовнішній підрядник (інженер-проектувальник)

Продовження таблиці 3.5

Код роботи	Перелік робіт	Організаційна одиниця (виконавець)
2.2	1. Розробка технічних рішень модернізації аспіраційних систем (заміна фільтрів, оновлення вентиляції).	Технічний відділ, зовнішній підрядник
2.3	1. Проектування систем зрошування сировини перед дробленням.	Проектний відділ, технічний відділ
2.4	1. Розробка конструкцій герметичних кожухів для ущільнення транспортних систем.	Проектний відділ, конструкторський відділ
2.5	1. Планування впровадження автоматизованого моніторингу пилових викидів.	Відділ автоматизації, екологічний відділ
3.1	1. Організація закупівлі обладнання та матеріалів (циклонів, фільтрів, насосного обладнання, датчиків).	Відділ закупівлі, головний інженер
3.2	1. Підготовка монтажних та пусконаладжувальних робіт.	Відділ монтажу, технічний відділ
3.3	1. Розробка програми навчання персоналу та стандартів експлуатації систем очищення.	Відділ кадрів, відділ охорони праці
4.1	1. Монтаж та введення в експлуатацію циклонів СІОП на АУ-36.	Відділ монтажу, зовнішні підрядники
4.2	1. Виконання модернізації аспіраційних систем на вузлах АУ-31-1, АУ-31-2, АУ-39.	Відділ монтажу, технічний відділ
4.3	1. Встановлення систем зрошування сировини.	Відділ монтажу, технічний відділ
4.4	1. Монтаж герметичних кожухів на транспортних лініях.	Відділ монтажу, конструкторський відділ
4.5	1. Впровадження автоматизованого моніторингу пилових викидів.	Відділ автоматизації, екологічний відділ
4.6	1. Проведення навчальних тренінгів для персоналу.	Відділ кадрів, відділ охорони праці
5.1	1. Контроль ефективності роботи встановлених систем та оцінка зменшення пилових викидів.	Відділ екології, технічний відділ
5.2	1. Виявлення недоліків та коригування технологічних заходів.	Проектний відділ, технологічний відділ
5.3	1. Підготовка звітності щодо екологічних та економічних результатів проекту.	Відділ екології, фінансовий відділ
5.4	1. Розробка рекомендацій щодо подальшого впровадження та масштабування заходів.	Проектний відділ, керівництво підприємства

Джерело: розроблено автором

Розроблена організація виконання проектних робіт передбачає чіткий розподіл завдань між відповідальними структурними підрозділами та виконавцями, що забезпечує послідовність і системність реалізації заходів зі зменшення пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

3.2. Розробка заходів пилоподавлення при перевантаженні гірничої маси з конвеєра на конвеєр

Пересипні вузли конвеєрних ліній є ключовими зонами формування пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

За даними проведених досліджень, до 80 % загального обсягу пилу утворюється саме у точках переходу руди з одного конвеєра на інший, де матеріал падає з висоти, вдаряється об стрічку, викликаючи інтенсивне руйнування поверхневих частинок та розсіювання дрібнодисперсних фракцій у повітряний простір. Висока турбулентність у зоні падіння частинок створює потоки, які швидко транспортують пил по всьому приміщенню, ускладнюючи роботу аспіраційних систем і призводячи до перевищення нормативів забруднення в 3–5 разів.

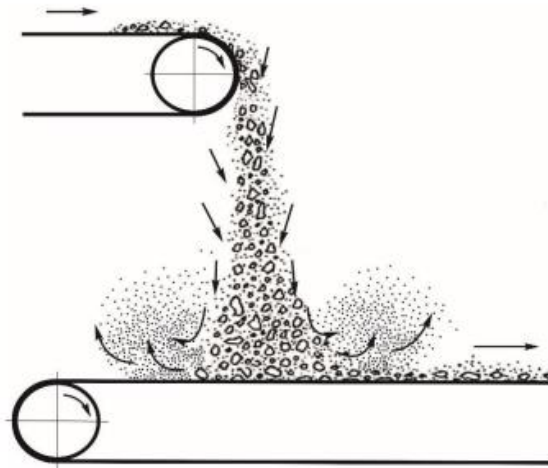


Рис. 3.7. Повітряні потоки при вільному падінні сипучої маси
Джерело: [26]

Ефективна робота пересипних пунктів можлива лише за умов комплексної модернізації конструкцій та систем пилоподавлення. Одним із найефективніших рішень є застосування локальних укриттів з волоконними шторами, які створюють еластичний бар'єр навколо місця пересипання. Згідно з поданою схемою (рис. 3.1), волоконна штора здатна значно знизити швидкість виходу запиленого повітря, утримати значну частину частинок на поверхні волокон та запобігти їх розсіюванню по конвеєрній галереї. Осілий пил видаляється періодичним струшуванням, що зменшує ризик вторинного підйому пилу у повітря.

Другим важливим елементом системи пилоподавлення є герметизація пересипних течок. У роботі підкреслюється, що пил виникає саме через відкритість пересипних зон, що дозволяє повітрю вільно циркулювати. Установлення герметичних кожухів на переходах між конвеєрами дає змогу знизити неконтрольовані викиди на 40 % і забезпечити стабільну роботу аспіраційних систем, оскільки запилений повітряний потік концентрується у замкненому об'ємі й легше видаляється витяжною системою.

Важливе значення має й місцеве аспіраційне відсмоктування. Правильне проектування аспіраційних установок повинно забезпечувати рівномірне розрідження по всій довжині повітропроводу та виключати утворення застійних зон у місцях пересипання. Рівномірне всмоктування запиленого повітря запобігає утворенню застійних зон і вторинному виносу пилу – це

дозволяє суттєво зменшити загальне навантаження на систему очищення та забезпечити стабільну роботу фільтраційного обладнання.

Крім того, доцільно застосовувати зрошення у передпересипних зонах, що дозволяє доповнити механічне та аспіраційне пилоподавлення. Підвищення вологості магнетитових кварцитів до 12–14 % знижує рівень пилоутворення на 20–30 % без погіршення технологічних властивостей матеріалу, що підтверджено у таблиці заходів. Такий метод забезпечує агломерацію найдрібніших частинок і не дозволяє їм переходити у повітряний стан.

Одним із модернізаційних напрямів також є встановлення автоматизованого моніторингу пилу, що дає можливість оперативно виявляти пікові навантаження у точках пересипання та коригувати роботу аспіраційних систем у режимі реального часу. Лазерні сенсори дозволяють зменшити аварійні викиди на 15 % та стабілізувати технологічний режим роботи пересипних вузлів.

Таким чином, система пилоподавлення при перевантаженні гірничої маси з конвеєра на конвеєр повинна включати укриття, аспірацію, зрошення, герметизацію, моніторинг і регулярне технічне обслуговування. Комплексне застосування цих заходів забезпечує суттєве зменшення пилових викидів та стабільну роботу конвеєрних ліній у дробарному цеху.

3.3. Розробка заходів боротьби з пилом при роботі грохотів

Грохоти є однією з найбільш пилогенеруючих ділянок дробильно-сортувального процесу. При просіюванні матеріалу відбувається інтенсивне руйнування частинок та виділення дрібнодисперсного пилу, який легко підіймається у повітряні потоки через вібраційний характер роботи обладнання. Додатковим фактором є те, що під час роботи грохотів формується потужний висхідний повітряний потік, який переносить пил у приміщення цеху та далі – до вентиляційних шахт і атмосферного повітря.

Основними джерелами пилоутворення є місця завантаження, пересипання, дроблення і транспортування руди, а грохоти фактично поєднують у собі відразу декілька із цих механізмів: завантаження, вібраційне просіювання, пересипання та падіння матеріалу в нижній бункер.

Першим напрямом модернізації є конструктивне вкриття грохотів та прилеглих зон. Укриття створює бар'єр, що утримує пил у локальному об'ємі та спрямовує його до аспіраційних каналів. Розміщення еластичних волоконних штор на завантажувальних та вивантажувальних отворах дозволяє значно зменшити неконтрольовані викиди. Доведено, що існує ефективність таких штор у зонах інтенсивного руху матеріалу, де вони приглушують швидкість вихідного потоку пилу та сприяють його осадженню.

Другим ключовим аспектом є підбір і модернізація аспіраційних установок, зокрема АУ-31-1, АУ-31-2 та АУ-39, що традиційно обслуговують грохотні ділянки. На основі аналізу роботи цих агрегатів визначено, що їхні недоліки полягають у нерівномірному всмоктуванні та недостатньому обсязі

повітряного потоку, що не дозволяє повністю уловлювати дрібнодисперсний пил. Вдосконалення аспіраційних вузлів має передбачати збільшення пропускної здатності, оптимізацію конфігурації повітропроводів і встановлення більш ефективних фільтраційних систем – циклонів або рукавних фільтрів. Циклони ефективні для більш грубих фракцій, тоді як рукавні фільтри забезпечують очищення на рівні 98–99 % навіть для частинок розміром менше 1 мкм.

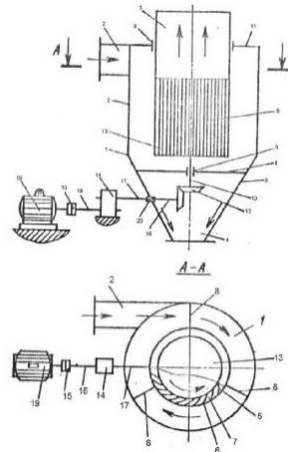


Рис. 3.8. Повітряні потоки при вільному падінні сипучої маси
Джерело: [25]

Пилоловлювач із рухомим відокремлювачем функціонує таким чином: пилоповітряна суміш тангенційно подається через вхідний патрубок (9) у корпус пристрою (1). Під дією відцентрових сил тверді частинки відкидаються до стінок циліндричної частини корпусу, після чого, під впливом сили тяжіння, переміщуються вниз уздовж циліндричної, а потім конічної частини апарата до розвантажувального вузла виходу пилу (12), звідки вони надходять у бункер (13). Важливим заходом є організація рівномірного всмоктування повітря у зоні грохочення, про що прямо зазначено у документі: «рівномірне всмоктування запиленого повітря запобігає утворенню застійних зон». Це дозволяє усунути зворотні вихори, що штовхають пил назад у приміщення цеху. Допоміжним заходом є вологе пилоподавлення, яке може застосовуватись під час роботи грохотів для змочування поверхні матеріалу та стабілізації дрібнодисперсних частинок. Це особливо ефективно під час просіювання сухих матеріалів, схильних до утворення великої кількості пилу. У сукупності ці технічні рішення – укриття, штори, модернізована аспірація, фільтрація та зволоження – забезпечують комплексну боротьбу з пилом у зоні грохотів, знижують викиди та покращують санітарні умови роботи персоналу.

3.4. Розробка заходів по знипненню прийомних бункерів

Приймальні та проміжні бункери дробарного цеху є критичними точками пилоутворення, оскільки в них відбувається падіння матеріалу з великої висоти, розпорошення дрібних частинок і турбулентне змішування повітряних потоків. До зони підвищеної небезпеки належать

перевантажувальні вузли: приймальних і проміжних бункерів, що підкреслює необхідність спеціальних заходів зі знепилення саме цих ділянок.

Основним напрямом є герметизація верхніх та бокових частин бункера. Встановлення металевих кожухів та ущільнювальних елементів дозволяє значно зменшити вихід пилу у навколишній простір. Особливо важливо обмежити утворення «пилових факелів» у момент падіння руди на дно бункера. Герметизація створює контрольований об'єм, з якого пил може бути ефективно вилучений аспіраційною системою.

Другим ключовим заходом є впровадження місцевого відсмоктування пилу. Згідно з роботою, аспіраційна система повинна забезпечувати рівномірне всмоктування запиленого повітря, що запобігає утворенню застійних зон і зворотних вихорів, які знову виносять пил у робочу зону цеху. Використання правильно розташованих всмоктувальних вирв забезпечує пряме уловлювання пилу у момент його підйому та дозволяє стабілізувати санітарний стан приміщення.

Ефективним заходом також є вологе пилоподавлення у приймальних бункерах. Згідно з таблицею технічних рішень, зволоження матеріалу перед подачею в бункер знижує пилоутворення на 20–30 % і дозволяє зменшити загальне навантаження на аспіраційну систему. Волога агломерує дрібні частинки, що сприяє осадженню пилу та виключає можливість його вільного переносу повітряними потоками.

Для боротьби з дрібнодисперсним пилом необхідно застосовувати сучасні фільтраційні системи. Циклони ефективні для очищення повітря від більш крупних фракцій, тоді як рукавні фільтри забезпечують очищення до нормативних рівнів навіть при значному обсязі дрібного пилу. Оскільки приймальні бункери є місцями з високою концентрацією пилу, фільтрувальні установки повинні мати більшу продуктивність і стійкість до абразивних частинок.

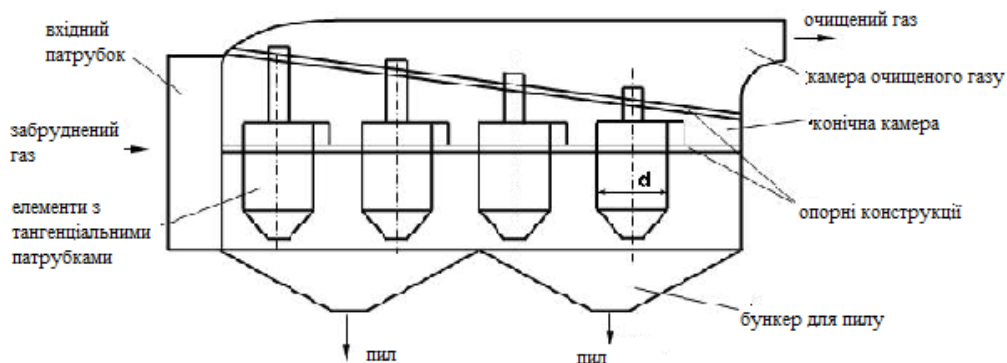


Рис. 3.9. Схема батарейного циклона
Джерело: [25]

Ще одним важливим напрямом є організація безперервного моніторингу пилу. Встановлення датчиків концентрації пилу поблизу приймальних бункерів дозволяє виявляти критичні перевищення та забезпечує автоматичне регулювання роботи аспіраційних систем.

Комплексне поєднання герметизації, аспірації, зрошення, фільтрації та моніторингу дозволяє суттєво зменшити пилові викиди в зоні приймальних бункерів, знизити рівень забруднення повітря та покращити умови роботи персоналу.

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПАНОВАНИХ ЗАХОДІВ

4.1. Економічна ефективність запропонованих рішень

Реалізація комплексного плану заходів зі зменшення виділення та утворення пилу у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є ключовим етапом підвищення екологічної безпеки та покращення умов праці на підприємстві. Для ефективного впровадження запропонованих технічних і організаційних рішень необхідно здійснити детальний аналіз фінансових витрат, що забезпечить оптимальне розподілення ресурсів і своєчасне виконання заходів. Формування бюджету витрат дозволить не лише оцінити економічну доцільність проекту, а й сприятиме плануванню інвестицій, координації роботи підрозділів та контролю за використанням фінансових ресурсів. Враховуючи масштаби та складність робіт, бюджет повинен охоплювати всі напрями діяльності: від закупівлі і монтажу обладнання до навчання персоналу та організації систем моніторингу.

Отже, бюджет витрат на реалізацію проекту зі зменшення виділення та утворення пилу у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» складемо у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Бюджет витрат на реалізацію проекту зі зменшення виділення та утворення пилу у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

№ з/п	Напрямок заходу	Основні статті витрат	Оцінка вартості (тис. грн)	Примітки
1	Проектування та встановлення циклонів СЮП	Закупівля циклонів, монтажні роботи, пусконаладження	1 200	Включає обладнання та роботи на АУ-36
2	Модернізація аспіраційних систем	Заміна фільтрів, оновлення вентиляційного обладнання	800	Оновлення на вузлах АУ-31-1, АУ-31-2, АУ-39
3	Зрошування сировини перед дробленням	Встановлення систем зрошування, трубопроводи, насосне обладнання	500	Витрати на обладнання та монтаж
4	Ущільнення транспортних систем	Виготовлення та монтаж герметичних кожухів	600	Включає матеріали та роботу
5	Автоматизований моніторинг пилових викидів	Закупівля датчиків, газоаналізаторів, програмне забезпечення	400	Встановлення та налаштування систем
6	Навчання персоналу та впровадження стандартів експлуатації	Організація тренінгів, розробка методичних матеріалів	150	Витрати на навчання та методичні матеріали
	Разом		3 650	

Джерело: розроблено автором

Проведений аналіз фінансових аспектів реалізації комплексного плану заходів зі зменшення виділення та утворення пилу у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» дозволяє констатувати, що загальні інвестиції у розмірі 3,65 млн. грн. є обґрунтованими з урахуванням очікуваних екологічних і економічних вигод.

Основна частина бюджету припадає на закупівлю та монтаж високоефективного обладнання, зокрема циклонів СІОП та модернізацію аспіраційних систем, що забезпечать суттєве зниження пилових викидів та відповідність нормативним вимогам. Значна увага приділена також організаційним заходам, включаючи навчання персоналу та впровадження автоматизованих систем моніторингу, що сприятиме підтриманню стабільної роботи систем очищення та оперативному реагуванню на можливі відхилення. Рациональне розподілення фінансових ресурсів і планомірне впровадження заходів створюють умови для сталого розвитку підприємства, покращення екологічного стану та підвищення конкурентоспроможності на ринку.

Зменшення пилових викидів не лише сприятиме покращенню екологічної ситуації, а й дозволить знизити суму сплаченого податку, що є вагомим економічним вигодом. Запропоновані заходи зі зменшення утворення та виділення пилу у дробарному цеху №1 передбачають комплексне технічне та організаційне оновлення, що забезпечить зниження пилових викидів на 35-45 %. Важливим аспектом є оцінка економічного ефекту від реалізації цього проекту, що включає зниження екологічного податку, а також потенційне скорочення експлуатаційних витрат і покращення умов праці (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Економічний ефект від проекту зі зменшення виділення та утворення пилу у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (2025 рік)

Показник	Значення	Примітки
Початковий обсяг викидів пилу, т/рік (G)	8 787,345	Фактичний обсяг викидів до реалізації проекту
Ставка екологічного податку, грн/т	96,99	Відповідно до ПКУ (п. 243.1, 243.4)
Початковий розмір екологічного податку, грн	851 986,7	$G \times \text{ставка}$
Очікуване зниження пилових викидів, %	35-45	За результатами реалізації заходів
Обсяг викидів після реалізації (мінімальний), т/рік	4 833,8 ($=8\,787,345 \times 0,55$)	При 45 % зниженні
Обсяг викидів після реалізації (максимальний), т/рік	5 711,7 ($=8\,787,345 \times 0,65$)	При 35 % зниженні
Розмір екологічного податку після реалізації (мінімальний), грн	469 027,6 ($=4\,833,8 \times 96,99$)	При 45 % зниженні
Розмір екологічного податку після реалізації (максимальний), грн	554 666,0 ($=5\,711,7 \times 96,99$)	При 35 % зниженні
Економія на екологічному податку (мінімальна), грн	382 959,1 ($=851\,986,7 - 469\,027,6$)	Різниця до і після реалізації (45 % зниження)

Економія на екологічному податку (максимальна), грн	297 320,7 (=851 986,7 – 554 666,0)	Різниця до і після реалізації (35 % зниження)
Бюджет витрат на реалізацію проекту, тис. грн	3 650	Загальні інвестиції
Економічний ефект від реалізації проекту (мінімальний), грн	382 959,1	Економія на податку
Економічний ефект від реалізації проекту (максимальний), грн	297 320,7	Економія на податку
Термін окупності проекту (мінімальний), роки	3,65 (=3 650 / 1 049,0)	При врахуванні економії податку і додаткових вигод
Термін окупності проекту (максимальний), роки	4,89 (=3 650 / 746,0)	Аналогічно, при нижчому рівні економії

Джерело: розроблено автором

Розрахунок економічного ефекту від реалізації проекту зі зменшення виділення та утворення пилу у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» показує, що запропоновані заходи здатні забезпечити суттєве зниження пилових викидів на рівні 35-45 %, що відповідає сучасним європейським стандартам екологічної безпеки. Це призведе до значного зменшення суми екологічного податку – від 297 до 383 тис. грн. на рік, що становить вагому економію для підприємства. Враховуючи загальний бюджет проекту у розмірі 3,65 млн. грн., термін окупності інвестицій може становити від 3,6 до 4,9 років, що є прийнятним для промислових екологічних ініціатив.

Окрім прямої економії на податкових платежах, реалізація проекту сприятиме зниженню експлуатаційних витрат, покращенню умов праці та підвищенню екологічного іміджу підприємства. Таким чином, інвестиції у заходи з контролю пилових викидів є не лише екологічно обґрунтованими, а й економічно вигідними, що стимулює подальший розвиток і модернізацію виробничих процесів на ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

4.2. Екологічні переваги впровадження заходів

Впровадження комплексного плану заходів зі зменшення виділення та утворення пилу у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки та сталого розвитку промислових підприємств. Зниження пилових викидів сприяє не лише покращенню якості атмосферного повітря, а й зменшенню негативного впливу на здоров'я працівників і навколишнє середовище.

Аналіз технологічних процесів та джерел пилу дозволив розробити науково обґрунтований план заходів, що включає модернізацію аспіраційних систем, встановлення циклонів, впровадження зрошування сировини, герметизацію транспортних ліній, автоматизований моніторинг та навчання персоналу. Застосування сучасних технологій очищення повітря, таких як циклони, рукавні фільтри, електрофільтри, забезпечує високу ефективність видалення пилових частинок різного розміру. Очікуване зниження пилових викидів на 35-45 % відповідає європейським стандартам і створює передумови

для сталого функціонування цеху з мінімальним екологічним навантаженням. Для повного розуміння потенціалу та викликів реалізації даного проекту доцільним є проведення SWOT-аналізу екологічних переваг впровадження запропонованих заходів (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

SWOT-аналіз екологічних переваг впровадження заходів зі зменшення пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Категорія	Пояснення
Сильні сторони (Strengths)	- Значне зниження пилових викидів (35–45 %), що відповідає міжнародним екологічним стандартам. - Використання сучасних технологій очищення повітря (циклонів СЮП, рукавних фільтрів, електрофільтрів). - Підвищення ефективності аспіраційних систем та контроль за якістю повітря в режимі реального часу. - Покращення умов праці та зниження ризику професійних захворювань. - Зниження екологічного податку та експлуатаційних витрат.
Слабкі сторони (Weaknesses)	- Високі початкові інвестиції у модернізацію обладнання та впровадження нових технологій. - Необхідність навчання персоналу та адаптації виробничих процесів. - Можливі технічні складнощі інтеграції нових систем в існуючу інфраструктуру.
Можливості (Opportunities)	- Підвищення екологічного іміджу підприємства на національному та міжнародному рівні. - Можливість отримання державних або міжнародних грантів та пільг на екологічні проекти. - Створення передумов для подальшої модернізації виробництва з урахуванням принципів сталого розвитку. - Підвищення конкурентоспроможності продукції за рахунок екологічної відповідальності.
Загрози (Threats)	- Зміни в законодавстві, що можуть вимагати додаткових витрат на відповідність новим нормам. - Технічні ризики, пов'язані з експлуатацією нового обладнання. - Можливі затримки в реалізації проекту через фінансові або організаційні причини.

Джерело: розроблено автором

Проведений SWOT-аналіз підтверджує, що впровадження комплексного плану заходів зі зменшення пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» має значні екологічні переваги, які забезпечать суттєве покращення якості атмосферного повітря та зменшення негативного впливу на здоров'я працівників і населення прилеглих територій.

Сильні сторони проекту пов'язані з інтеграцією сучасних технологій очищення, підвищенням ефективності систем аспірації та впровадженням автоматизованого моніторингу, що створює умови для сталого функціонування виробництва. Водночас, проект вимагає значних інвестицій, технічної адаптації та навчання персоналу, що є потенційними слабкими сторонами. Проте наявність широких можливостей для підвищення

екологічного іміджу підприємства, отримання фінансової підтримки та зміцнення конкурентних позицій створює сприятливий фон для реалізації проекту.

Загрози, пов'язані з нормативними змінами та технічними ризиками, можуть бути мінімізовані шляхом ретельного планування, контролю та управління ризиками.

Отже, реалізація запропонованих заходів є доцільною та перспективною з точки зору екологічної безпеки, економічної ефективності та соціальної відповідальності ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

4.3. Аналіз ризиків та можливостей реалізації проекту

Реалізація заходів зі зменшення пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» є складним інженерно-технічним та організаційним проектом, що передбачає значні інвестиції, модернізацію обладнання та зміну виробничих процесів. Водночас, впровадження таких заходів супроводжується низкою ризиків, які можуть впливати на строки, якість та ефективність реалізації проекту. Для забезпечення успішної реалізації комплексного плану необхідним є системний підхід до ідентифікації, оцінки та управління ризиками. Карта ризиків проекту дозволяє структуровано оцінити потенційні загрози, розподілити пріоритети для їхнього моніторингу та розробити заходи щодо мінімізації негативних наслідків. Врахування економічних, технічних, організаційних, соціальних та політичних факторів у процесі управління проектом сприятиме підвищенню його ефективності, зниженню невизначеності та забезпеченню екологічної безпеки дробарного цеху.

Карту ризиків проекту зі зменшення пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» складемо у табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Карта ризиків проекту зі зменшення пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Пріоритет ризикового фактора	Назва ризикового фактора	Група ризику	Важливість фактора (0–1)	Оцінка ризику в балах (0–10)	Оцінка з урахуванням важливості
1	Недостатність фінансування проекту	Економічні	0,3	8	2,4
2	Технічні складнощі при інтеграції нового обладнання	Технічні	0,25	7	1,75
3	Несвоєчасне навчання та недостатня кваліфікація персоналу	Організаційні	0,2	6	1,2

4	Зміни в екологічному законодавстві	Політичні	0,15	5	0,75
5	Відсутність підтримки з боку керівництва	Організаційні	0,1	6	0,6
6	Погіршення умов постачання матеріалів та комплектуючих	Логістичні	0,1	4	0,4
7	Відмова або затримка постачання обладнання	Логістичні	0,1	5	0,5
Разом		7,6			

Джерело: розроблено автором

Проведений аналіз ризиків проекту зі зменшення пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» дозволив ідентифікувати ключові фактори, що можуть впливати на успішність реалізації комплексного плану заходів. Найбільш значущими є економічні ризики, пов'язані з недостатністю фінансування, а також технічні складнощі, які можуть виникнути при інтеграції нового обладнання в існуючу інфраструктуру. Важливе значення має організаційна складова, зокрема якість навчання персоналу та підтримка керівництва підприємства.

Політичні та логістичні ризики мають помірний вплив, але їхнє врахування є необхідним для комплексного управління проектом. Загальна оцінка ризиків свідчить про помірний рівень загроз, що може бути знижений завдяки системному підходу до моніторингу, плануванню та впровадженню превентивних заходів.

Матрицю оцінки ризиків проекту наведемо у табл. 4.5.

Проведений аналіз ризиків проекту зі зменшення пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на основі матриці оцінки дозволяє визначити пріоритетні напрямки управління ризиками, що мають суттєвий вплив на успішність реалізації заходів.

Таблиця 4.5

Матриця оцінки ризиків проекту

		Оцінка ризику за фактором				
		[0, 1]	[2, 4]	5	[6, 8]	[9, 10]
Важливість ризикового фактора	8		Недостатність фінансування проекту			
	6	Несвоєчасне навчання та недостатня кваліфікація персоналу				

	5			Відмова або затримка постачання обладнання		
	4		Погіршення умов постачання матеріалів та комплектуючих			
	3		Зміни в екологічному законодавстві			

Умовні позначення:  – високий ризик;  – помірний ризик;  – низький ризик

Джерело: розроблено автором

Найвищий рівень ризику спостерігається у випадках недостатності фінансування проекту, технічних складнощів при інтеграції нового обладнання та несвоєчасного навчання персоналу, що відображає значущість економічних, технічних та організаційних факторів для забезпечення ефективності реалізації проекту.

Помірний рівень ризику притаманний змінам у екологічному законодавстві, відсутності підтримки керівництва та логістичним проблемам, таким як відмова або затримка постачання обладнання.

Низький ризик пов'язаний з погіршенням умов постачання матеріалів та комплектуючих. Виявлені ризики потребують системного підходу до їхнього моніторингу та розробки превентивних заходів, що сприятиме мінімізації негативних наслідків і забезпеченню стабільності проекту.

Застосування матриці оцінки ризиків дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів та підвищити рівень управління проектом, що є ключовим для досягнення екологічної безпеки та підвищення конкурентоспроможності підприємства у сучасних умовах виробництва.

ВИСНОВКИ

1. Моя робота має апробацію, а отримані результати були опубліковані у фаховій статті (Додаток Б), що підтверджує її практичну цінність та наукову новизну. У процесі виконання дослідження було сформовано комплексну оцінку стану пилових викидів у дробарному цеху №1 ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та їхнього впливу на навколишнє середовище, виробничі процеси й економічні показники підприємства. Пилові викиди дробарних цехів є одним із ключових факторів техногенного навантаження на промислові регіони, зокрема Кривбас. Аналіз стану атмосферного повітря та виробничих умов у ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» підтвердив значні обсяги запиленості, нерівномірну ефективність існуючих систем аспірації та потребу у вдосконаленні природоохоронних технологій. Розгляд законодавчої бази засвідчив, що нормативні вимоги створюють рамки для контролю викидів, але їх виконання залежить від технічної модернізації підприємства. Отже, проблема пилових викидів має комплексний характер та потребує системного техніко-економічного підходу.

2. Було детально досліджено механізм утворення пилу в процесі дроблення руди та визначено найбільш небезпечні технологічні зони – перевантажувальні вузли, дробарки різних стадій, грохоти та бункери. Аналіз технологічного циклу показав, що на кожному етапі подрібнення формується пил різної дисперсності, що суттєво впливає на повітря робочої зони та довкілля. Оцінка екологічних та економічних наслідків засвідчила, що підвищена запиленість не лише створює ризики для здоров'я працівників, а й призводить до втрат корисних компонентів руди та збільшення витрат підприємства. Це дало підстави для формування технічно обґрунтованих напрямів мінімізації пиловиділення.

3. Було розроблено комплекс практичних заходів щодо зменшення пилових викидів у дробарному цеху №1. Запропоновано оновлення систем аспірації, застосування ефективних технологій пилоподавлення при пересипанні маси, модернізацію грохотів, удосконалення конструкцій приймальних бункерів та впровадження автоматизованих систем контролю пилу. Розроблені рішення охоплюють технічні, технологічні та організаційні підходи, що у сукупності формують єдину систему боротьби з пилом. Особливу увагу приділено можливості зниження пиловиділення без зупинки виробництва та забезпеченню тривалої експлуатації обладнання.

4. Впроваджено запропоновані заходи щодо економічної та екологічної доцільності. Розрахунки показали, що модернізація аспіраційних установок, оптимізація пилоподавлення та зниження неорганізованих викидів забезпечують суттєве скорочення витрат на екологічні платежі та втрати сировини. Екологічний ефект виражається у значному зменшенні концентрації пилу в повітрі, підвищенні безпеки персоналу та мінімізації негативного впливу на довкілля. Аналіз ризиків підтвердив, що потенційні труднощі впровадження є керованими та виправданими отриманими результатами. У

підсумку комплекс заходів створює умови для сталого розвитку гірничо-збагачувального виробництва та повного дотримання екологічних норм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Багрій І. Д., Білоус А. М., Вилку Ю. Г., Гожик П. Ф. Дослідження комплексного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинська і картографування цього впливу. Київ: Видавництво Фенікс, 2015. 107 с.
2. Багрій І. Д., Блінов П. В., Белокопитова Н. А. та ін. Геоecологічні проблеми Криворізького басейну в умовах реструктуризації гірничодобувної галузі. Київ: Видавництво Фенікс, 2022. 190 с.
3. Бойчук Ю. Д. Екологія і охорона навколишнього середовища : навч. посіб. 2–ге вид., стер. Суми : Університетська книга, 2003. 284 с.
4. Бондаренко Є. А. Посібник до практичних занять з безпеки життєдіяльності. Частина 2. Твердохліб. Вінниця : ВНАУ, 2013. 119 с.
5. Бубликов В. Б., Бачинський Ю. Д., Нестерук О. П. Одержання високоміцних чавунів перлітного класу з підвищеними технологічними та механічними властивостями. Процеси лиття. 2024. № 1 (155). С. 3-13.
6. Буркинський Б. Екологічно чисте виробництво. Наукові засади впровадження та розвитку. Вісн. НАН України. 2016. № 5. С. 11–17.
7. Бюджетний кодекс України від 08.07.2010 року N 2456-VI. URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2456-17>
8. Верлан В. А. Оптимізація розташування мережі постів моніторингу за забрудненням атмосфери в промисловому місті : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук : спец. 11.00.09 «Метеорологія, кліматологія, агрометеорологія». Одеса, 2015. 17 с.
9. Видобуток і збагачення руди. URL : <https://ukraine.arcelormittal.com/production-sytle/iron-ore-mining-and-processing>
10. Вінічук М. М. Загальна екологія : Навчальний посібник, видання друге, виправлене та доповнене. Житомир : Видавництво Державного університету «Житомирська політехніка», 2021. 184 с.
11. Галушкіна Т. П. «Зелена» економіка крізь призму трансформаційних зрушень в Україні : монографія. НАН України, Ін-т проблем ринку та екон.-екол. дослідж. Одеса : Фенікс, 2011. 348 с.
12. Голінко І. М., Галицька І. Є. Промислове приміщення як динамічний елемент системи керування штучним мікрокліматом. Інформаційні системи, механіка та керування. Київ. 2018. № 18, С. 30-38.
13. Дмитренко І. А. Екологічне право України: підручник. Київ : Юрінком Інтер, 2001. 352 с.
14. Жарова Л. В. Екологічне підприємництво та екологізація підприємництва: теорія, організація, управління : монографія. Суми : Університетська книга, 2009. 240 с.
15. Жук В. П. Шляхи екологічної трансформації системи оподаткування в Україні. Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України. 2021. Випуск 5 (151). С. 20 – 28.

16. Закон України «Про охорону атмосферного повітря». Редакція від 15.11.2024, підстава - 4017-IX. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text>

17. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Редакція від 15.11.2024, підстава - 4017-IX. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>

18. Звіт з оцінки впливу на довкілля «Здійснення управління відходами на об'єкті оброблення відходів «Полігон для захоронення промислових та будівельних відходів ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». URL : <https://krr-ec-cdn02.azureedge.net/www-static/2025/06/Zvit-z-OVD-Zdiysnennia-upravlinnia-vidkhodamy-na-objekti-obroblennia-vidkhodiv-Polihon-dlia-zakhoronennia-promyslovykh-ta-budivelnikh-vidkhodiv-PAT-AMKR.pdf>

19. Зубик С. В. Техноекологія: джерела забруднення і захист навколишнього середовища. Івано-Франківськ: Полум'я, 2014. 452 с.

20. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія / О. Г. Васенко, О. В. Рибалова, С. Р. Артем'єв, Н. С. Горбань [та ін.]. Харків: НУГЗУ, 2015. 419 с.

21. Кіптенко Є. М. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря у містах України. Наук. праці УкрНДГМІ. 2002. Вип. 250. С. 288–298.

22. Конспект лекцій з дисципліни «Пилеуловлювання та очищення промислових викидів» для студентів за напрямом 6.050601. Теплоенергетика денної форми навчання / Укл. Глущенко О.Л., Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2012. 111 с.

23. Кучеров К. І., Овчиннікова Н. Б. Сучасні проблеми екологічної безпеки функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів та їх впливу на оточуюче природне середовище. Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, 2019. № 849, с. 90–96.

24. Липко А. С. Екологічне оподаткування в Україні: проблеми та перспективи. Молодіжний економічний дайджест, 2015 №1. С. 146-150. URL : <http://ir.kneu.edu.ua:8080/bitstream/2010/10517/1/146-150.pdf>

25. Методи пилогазоочистки: найкращі та доступні рішення URL : <https://ukraine-oss.com/metody-pylogazoochystky-najkrashhi-ta-dostupni-rishennya/>

26. Муха О. А., Лутс І. О., Юрченко А. А., Савельєв Д. В. Обґрунтування улаштування аспіраційного укриття при перевантаженні гірничої маси на конвеєрах / Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна // Гірництво. – С. 63.

27. Національна доповідь «Цілі Сталого Розвитку: Україна». Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. 2017. URL : <https://menr.gov.ua/files/docs/%D0%9D%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%20%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%8C%20%D0%A6%D0%A1%D0%A0%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD>

[%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D1%8C%202017%20ukr.pdf](#)

28. Офіційний сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL : <https://mepr.gov.ua/diyalnist/plany/plan-roboty-ministerstva-zahystu-dovkillya-ta-prirodnyh-resursiv-ukrayiny-na-2024-rik/>

29. Офіційний сайт ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». URL : <https://ukraine.arcelormittal.com/about/company-policies>

30. Охорона навколишнього середовища : монографія / за ред. Я.Б. Олійника. Київ : Ніка-Центр, 2006. 264 с.

31. Охорона навколишнього середовища : монографія / за ред. Я.Б. Олійника. Київ : Ніка-Центр, 2006. 264 с.

32. Охотський В.Б. Феноменологія сталеплавильних процесів. Навч. посібник. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. 90 с.

33. Паризька угода. 12.12.2015. Ратифікація від 14.07.2016. URL : http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/995_l61

34. Постанова Кабінету Міністрів України №614 від 25.06.2020. Деякі питання Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів. URL : https://zakononline.com.ua/documents/show/486853_775822

35. Право довкілля (екологічне право): навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / за ред.. П. Д. Пилипенка. К.: Ін-Юре, 2010. 360 с.

36. Про Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 796-р Київ (із змінами). URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-2017-%D1%80#Text>

37. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. Закон України. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, № 16, с. 70.

38. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року бюджет на 2015 рік. Закон України від 28.12.2014 № 80-VIII. URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/80-19>

39. Сердюк А.М. Екологія довкілля та безпека життєдіяльності населення у промислових регіонах України / А. М. Сердюк, В. П. Стусь, В. І. Ляшенко. Дніпропетровськ: Пороги, 2011. 486 с.

40. Смірнов О. М., Макуров С. Л., Сафонов В. М. Виробництво зливків сталі та промислових сплавів. Навчальний посібник. Донецьк: Ноулідж, 2013. 405 с.

41. Ставки екологічного податку у 2025 році. URL : <https://7eminar.ua/events/5150>

42. Хричиков В. Е., Меньяло О. В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. Видання друге, доопрацьоване. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. 89 с.

43. Царенко О. М. Захист середовища в умовах зростаючого техногенного навантаження на природу : навчальний посібник. Суми: Слобожанщина, 2001. 200 с.

44. Чубенко В. А., Ярош Т. П., Хіноцька А. А. Механічна інженерія в металургії: нач. пос. Кривий Ріг: Видавець Черняський Д. О. 2023. 212 с.
45. Шевченко О. Г. Основні джерела надходження забруднюючих речовин в атмосферу. Збірник наукових праць Військового інституту Київського Національного університету імені Тараса Шевченка. 2016. Вип. 5. С. 228–233.
46. Яциковський Б. І. Державне регулювання економічним розвитком гірничодобувної галузі в умовах модернізації національної економіки. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора економічних наук за спеціальністю 08.00.03 – економіка та управління національним господарством». ВНЗ «Національна академія управління», м. Київ, 2023. 350 с.
47. Batterham R. I. Production of primary metals – towards improved sustainability. *Erzmetall*. 2013. 56. № 6. P. 519–528.
48. Factors of work environment hazardous for health in opinions of employees working underground in the «Bogdanka» coal mine / J. Strzemecka, M. Gozdziowska, J. Skrodziuk, E. M. Galinska, S. Lachowski // *Ann. Agric. Environ. Med*. 2019. Vol. 26, № 3. P. 409–414.
49. Fan Z., Xu F. Health risks of occupational exposure to toxic chemicals in coal mine workplaces based on risk assessment mathematical model based on deep learning. *Environmental Technology & Innovation*. 2021. Vol. 22. URL : <https://sci-hub.ru/10.1016/j.eti.2021.101500>
50. Gautam S. A continuous analyzer for soluble anionic constituents and ammonium in atmospheric particulate matter. *Environ. Sci and Technol*. 2013. 37. № 24. P. 5711–5720.
51. Marica L., Irimie S., Baleanu V. Aspects of occupational morbidity in the mining sector. *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 23. P. 146–151.
52. Palazzi E. A simple analytical method for determining the atmospheric dispersion of upward directed high velocity releases. *Atmos. Environ*. 2012. 36. № 7. P. 1183–1193.
53. Potential determinants of coal workers pneumoconiosis, advanced pneumoconiosis, and progressive massive fibrosis among underground coal miners in the United States, 2005–2009. *Am. J. Public Health*. 2012. Vol. 102, Suppl. 2. P. 279–283.
54. Research status of pathogenesis of pneumoconiosis and dust control technology in mine – A review. *Appl. Sci*. 2021. Vol. 11, № 21. P. 10313.
55. Singer Brett C. Environ. Estimated emission reductions from California's enhanced Smog Check program. *Sci and Technol*. 2023. № 11. P. 2588 – 2595.

ДОДАТОК Б

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПО ЗМЕНШЕННЮ ПИЛОВИХ ВИКИДІВ В УМОВАХ ДРОБАРНИХ ЦЕХІВ ГІРНИЧОЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

Гацький А.К.*, Долина О.О., Філенко В.В., Лєгеца Н.Д.

Криворізький національний університет. Кривий Ріг. Україна

*Автор-кореспондент, e-mail: gackie@knu.edu.ua

Проаналізовані процеси пилоутворення в умовах дробарних цехів рудозбагачувальних фабрик, розроблена та запропонована конструкція аспіраційного укриття перевантажування гірничої маси з конвейєра на конвеєр з використанням обвідного каналу та гідравлічної форсунки.

Вступ. Пилові викиди є однією з основних екологічних проблем металургійних і гірничодобувних підприємств. Дробарний цех є одним з основних джерел пилоутворення на рудозбагачувальній фабриці, що обумовлено технологічними процесами дроблення руди. Незважаючи на впровадження сучасних технологій, питання зменшення пилових викидів залишається актуальним. Значне пилоутворення в дробарних цехах відбувається через специфіку процесів дроблення, транспортування та сортування руди. Дробарні цехи є важливими ланками рудозбагачувальних фабрик, оскільки саме на цьому етапі відбувається підготовка руди до подальших технологічних процесів.

Основними джерелами пилу в дробарних цехах є: завантаження та розвантаження сировини, дроблення матеріалу, транспортування на конвеєрах, пересипання на проміжних вузлах і вивантаження готового продукту.

Дослідження стану атмосферного повітря у дробарних цехах показують, що рівень запиленості перевищує встановлені нормативи в декілька разів. Основні компоненти пилу – це дрібнодисперсний кварц, оксиди заліза, домішки марганцю, які мають значний негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я працівників. Постійне вдихання пилу може спричиняти захворювання органів дихання, включаючи хронічний бронхіт, силікоз та пневмоконіози. Атмосферне повітря, що містить підвищену концентрацію пилу, також впливає на екологічну ситуацію в регіоні. Пил осідає на поверхнях рослин, зменшуючи їхню фотосинтетичну активність, забруднює водойми, знижуючи якість води, а також сприяє ерозії ґрунтів. У районах, де розташовані рудозбагачувальні фабрики, спостерігається значне підвищення рівня респіраторних захворювань серед населення. Викиди пилу в атмосферу створюють додаткове навантаження на системи очищення повітряних потоків, що вимагає використання ефективних методів пилоподавлення. Саме тому удосконалення існуючих систем аспірації та очищення повітря в дробарних цехах є важливим напрямком екологічної політики підприємств.

Результати раніше виконаних досліджень. На сьогодні у дробарних цехах застосовуються різні методи пилоподавлення, які можна умовно розділити на кілька категорій: механічні, аспіраційні, зрошувальні та комбіновані. Механічні методи передбачають обмеження поширення пилу шляхом використання кожухів, укриттів та герметичних камер у місцях інтенсивного пилоутворення. Такі методи можуть бути ефективними на локальних ділянках, але не забезпечують повної ліквідації пилових викидів. Аспіраційні системи включають використання витяжних пристроїв, які відводять запилене повітря у спеціальні фільтраційні установки. Вони забезпечують високу ефективність очищення повітря, проте їх робота потребує значних енергетичних витрат та регулярного обслуговування. Зрошувальні методи базуються на застосуванні систем зрошення, які змочують пиловмісні частинки, сприяючи їх осіданню. Для цього використовуються форсункові системи розпилення води, зволожувальні бар'єри та системи пінного пилоподавлення. Однак ефективність цих методів залежить від вологості руди, і в умовах низької вологості вони можуть бути малоефективними.

Комбіновані методи передбачають одночасне використання аспіраційних систем, механічних укриттів та зрошувальних установок для досягнення максимальної ефективності пилоподавлення. Таким чином, існуючі методи мають як переваги, так і певні обмеження. Тому розробка нових заходів та методів які забезпечать зменшення пиловиділення є важливим напрямком удосконалення технологій очищення повітря в дробарних цехах.

Мета і задачі досліджень. Метою досліджень було покращення екологічного стану довкілля в районах дробарних цехів шляхом зменшення валових пилових викидів. Для досягнення поставленої мети необхідно було розробити конструкції аспіраційних укриттів, які здатні здійснювати пилоподавлення в місці утворення пилу.

Характеристика вихідного матеріалу. Авторами були досліджені умови утворення та виділення пилу при процесах дроблення гірничої маси у дробарних цехах гірничозбагачувальних комбінатів. Було встановлено, що у дробарних цехах пил утворюється при виконанні наступних технологічних операцій:

- первинне та вторинне дроблення руди;
- транспортування руди за допомогою конвеєрів;
- перевантаження матеріалу в бункери, живильники та завантажувальні воронки;– просівання та сортування подрібненої руди.

Основними джерелами пилу є місця розвантаження транспорту, конвеєрні переходи, місця пересипання руди, місця завантаження дробарок, а також зони розвантаження продукту дроблення. Процес дроблення руди є одним із найбільш пилогенеруючих, оскільки під час механічного руйнування рудних шматків відбувається вивільнення дрібнодисперсних частинок, які під дією потоків повітря розповсюджуються в робочому просторі цеху та викидаються в атмосферу.

Концентрація пилу в зонах дроблення може сягати десятків і навіть сотень міліграмів на кубічний метр повітря, що значно перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК) (Бабенко et al., 2020; ДСТУ 17.2.3.02-2018).

Транспортування руди за допомогою конвеєрів також є суттєвим джерелом пиловиділення, оскільки при русі матеріалу відбувається його часткове розпилення, особливо в місцях завантаження та розвантаження. Перевантаження матеріалу в бункери, живильники та завантажувальні воронки також супроводжується значним утворенням пилу через падіння частинок з великої висоти, що викликає турбулентність повітряного потоку і сприяє підняттю пилу в повітряний простір цеху.

Просівання та сортування подрібненої руди додатково сприяє утворенню пилових частинок, оскільки в процесі поділу матеріалу на фракції відбувається відрив дрібних частинок, які залишаються у зваженому стані в повітрі.

Всі ці фактори сприяють значному запиленню повітряного середовища дробарного цеху, що негативно впливає як на здоров'я працівників, так і на екологічну ситуацію навколишнього середовища. На рудозбагачувальних фабриках, зокрема на ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», дробарний цех №1 є одним із головних джерел забруднення атмосферного повітря пилом. За результатами моніторингу повітряного середовища, середня концентрація пилу в робочій зоні дробарного цеху часто перевищує ГДК. Основними складовими пилових викидів є кварцовий пил, оксиди заліза, дрібнодисперсні фракції марганцю, алюмінію, кремнію та інші домішки, які формуються в результаті механічного подрібнення рудної маси (Вуговський, 2023; СанПіН 2.2.4-171-10).

Особливістю пилових викидів у дробарному цеху є високий вміст дрібнодисперсних частинок, які здатні довго залишатися у зваженому стані та проникати у легені людини при вдиханні. Це створює підвищений ризик розвитку професійних захворювань у працівників, які працюють в умовах підвищеної запиленості. Окрім цього, пилові викиди значно впливають на навколишнє середовище, осідаючи на поверхнях будівель, ґрунті, рослинності, а також потрапляючи у водні джерела. Пилові викиди у дробарних цехах негативно впливають на здоров'я працівників та довкілля. Основні негативні наслідки запиленого повітря для людини включають: розвиток професійних захворювань органів дихання (силікоз, пневмоконіози, хронічний бронхіт, бронхіальну астму), підвищення ризику серцево-судинних захворювань через тривале вдихання дрібнодисперсного пилу, подразнення слизових оболонок очей та верхніх дихальних шляхів, що може викликати запальні процеси (Бабенко et al, 2020; Державна служба України з питань праці).

Викиди пилу також мають значний негативний вплив на навколишнє середовище. Осідання пилу на поверхнях рослинності призводить до зменшення інтенсивності фотосинтезу, що може викликати деградацію рослинних угруповань у зоні впливу підприємства. Потраплення пилу у водні джерела може спричинити зміну хімічного складу води та негативно впливати

на водні екосистеми. Окрім цього, пилові викиди створюють ризики для роботи промислового обладнання. Висока концентрація пилу може призводити до абразивного зношування рухомих частин механізмів, осідання пилу на електричних контактах, що може спричиняти коротке замикання, а також збільшення ризику вибухонебезпечних ситуацій у випадку наявності горючих компонентів у складі пилу.

Таким чином, аналіз сучасного стану атмосферного повітря у дробарних цехах показує, що проблема пилових викидів є критичною як з точки зору впливу на здоров'я працівників, так і з точки зору екологічних наслідків. У зв'язку з цим необхідне впровадження ефективних заходів щодо зменшення пилоутворення та пиловидалення у дробарних цехах рудозбагачувальних фабрик.

Аналіз отриманих результатів. Враховуючи результати аналізу існуючих методів пилоподавлення, авторами було запропоновано впровадження комплексної системи, яка поєднує удосконалені аспіраційні укриття, комбінацію водяного та пінного пилоподавлення, а також інноваційну систему рекуперації уловленого пилу. Поєднання цих підходів дозволить значно зменшити рівень пилових викидів у дробарному цеху, підвищити ефективність очищення повітря та покращити умови праці для персоналу. Концепція нової системи пилоподавлення базується на застосуванні декількох взаємопов'язаних технологій. Удосконалені аспіраційні укриття дозволяють контролювати напрямок руху повітряних потоків та ефективно вловлювати пилові частинки безпосередньо в місцях їх утворення.

Запропонована авторами конструкція аспіраційного укриття місця перевантаження гірничої маси з конвеєра на конвеєр представлена на рис. 1.

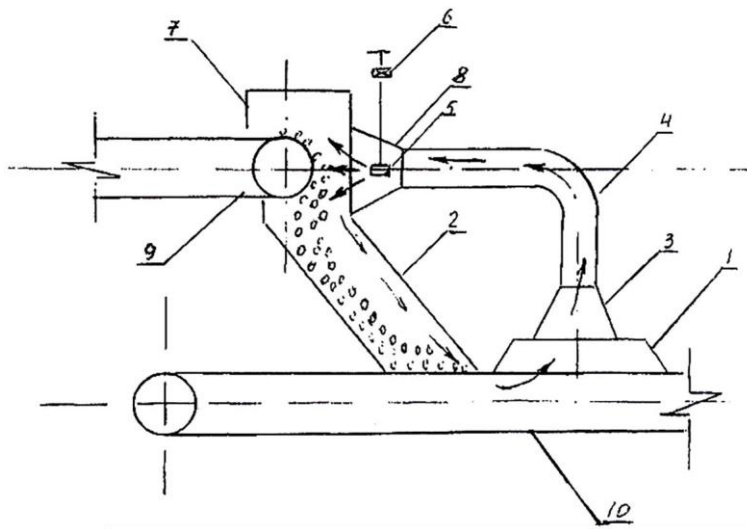


Рисунок 1. Конструкція аспіраційного укриття місця перевантаження гірничої маси з конвеєра на конвеєр.

1 і 7 – корпус аспіраційних укриттів; 2 – завантажувальний жолоб; 3 і 8 – відсмоктуючі лійки; 4 – обвідний канал; 5 – гідравлічна форсунка; 6 – електроventель; 9 – верхній конвеєр; 10 – нижній конвеєр.

Пункт перевантаження гірничої маси складається з корпусу аспіраційних укриттів 1 і 7, завантажувального жолоба 2, відсмоктуючих лійок 3 і 8 обвідного каналу 4, який з'єднує нижнє аспіраційне укриття 1 з верхнім аспіраційним укриттям 7, гідравлічна форсунка 5, електровентиль 6, верхній конвеєр 9, нижній конвеєр 10. Пункт перевантаження працює таким чином. При роботі верхнього конвеєра 9, гірнича маса по жолобу 2, переміщується на нижній конвеєр 10. Одночасно з роботою конвеєрів включається за допомогою електровентилля 6, гідравлічна форсунка 5. Забруднене повітря пилом надходить з гірничою масою в нижнє аспіраційне укриття 1. Надлишковий тиск повітря, що утворюється в нижньому аспіраційному укритті 1, за рахунок руху гірничої маси, виштовхує повітря разом з пилом у відсмоктуючу лійку 3. Робота гідравлічної форсунки 5, створює ежекційну тягу в обвідному каналі 4 та водоповітряну завісу у верхньому аспіраційному укритті 7, при цьому зволожується гірнича маса. Таким чином, створюється за допомогою гідравлічної форсунки 5, рух забрудненого повітря пилом по замкнутому колу верхнє аспіраційне укриття 7, завантажувальний жолоб 2, нижнє аспіраційне укриття 1, відсмоктуюча лійка 3, обвідний канал 4. Крім того дрібнодисперсні крапельки води сприяють коагуляції пилу та знепиленню технологічного процесу перевантаження. Пил який в результаті коагуляції став крупнішим осідає на гірничу масу і транспортується далі конвеєром.

Запропонована авторами конструкція аспіраційних укриттів пункту перевантаження гірничої маси з конвеєра на конвеєр дозволяє ефективно проводити процес пилоподавлення у місці утворення пилу з одночасним зменшенням енергетичних витрат. **Висновки.** За результатами проведених авторами досліджень було встановлено:

1. Існуючі методи пилоподавлення мають ряд недоліків та не забезпечують необхідного рівня очищення повітря. Незважаючи на застосування аспіраційних систем, механічних укриттів та зрошувальних установок, рівень запиленості у дробарних цехах гірничозбагачувальних фабрик часто перевищує встановлені нормативи.

2. Запропоновані авторами аспіраційні укриття у поєднанні з іншими методами дозволяють значно зменшити рівень пилу. Комплексний підхід до зниження пилових викидів включає використання герметичних аспіраційних укриттів та комбінацію водяного та пінного пилоподавлення. Комбінація методів дозволяє досягти зниження рівня пилових викидів на 60–70%, що відповідає сучасним екологічним стандартам та вимогам промислової безпеки.

ЛІТЕРАТУРА

Бабенко П.І., Романенко В.Ю. 2020. Вплив промислового пилу на здоров'я працівників дробарних цехів. Екологія і безпека праці. С. 21- 38.

Вуговський А.В. 2023. Дослідження ефективності пилоподавлення у дробарних цехах. Науковий вісник Поліського університету. С. 18-30.

Державна служба України з питань праці. Електронний ресурс: <https://dsp.gov.ua>.

ДСТУ 17.2.3.02-2018. Охорона природи. Атмосфера. Нормативи та методи контролю пилового забруднення.

СанПиН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.

Короткі повідомлення