

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет гірничо-металургійний
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

**Кваліфікаційна робота
допущена до захисту**

Гарант ОПП «Інноваційні технології та
системи захисту навколишнього
середовища»

ПІКАРЕНЯ Д.С. _____

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

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

за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

на тему «Обґрунтування технологічних рішень для скорочення викидів
у атмосферу на підприємстві з виробництва бетону»

Керівник

Пікареня Д.С.

(Прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант від
бази практики

Батюк В.Б.

(Прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Здобувач

Степаненко О.М.

(Прізвище та ініціали)

(підпис) |

Кам'янське 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП «Інноваційні технології та системи захисту навколишнього середовища»

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

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Степаненко Олексій Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Обґрунтування технологічних рішень для скорочення викидів у атмосферу на підприємстві з виробництва бетону»
керівник роботи Пікареня Д.С., доктор геологічних наук, професор _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету від 14.10.2024 р. №238/14.10.2024
2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 03.02.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики природокористування та захисту навколишнього середовища, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ТОВ «Бетон Комплекс», матеріали зібрані під час інженерно-природоохоронної практики
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Реферат. Вступ. 1 Аналіз проблемної ситуації об'єкту дослідження, розгляд шляхів її вирішення. 2 Дослідження ефективності роботи установок очистки газу. 3. Вдосконалення системи очистки викидів транспортно-сировинного цеху. 4 Охорона праці. 5 Економічна ефективність впровадження запропонованих технічних рішень. Висновки. Список використаних джерел.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) презентація Microsoft Power Point в кількості 23 слайдів.
6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Пікареня Д.С., професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля
2	Пікареня Д.С., професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля
3	Пікареня Д.С., професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля
4	Пікареня Д.С., професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля
5	Пікареня Д.С., професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля

7. Дата видачі завдання 27.12.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Аналіз проблемної ситуації об'єкту дослідження, розгляд шляхів її вирішення	28.12.2024 – 02.01.2025
2	Дослідження ефективності роботи установок очистки газу	03.01.2025 – 05.01.2025
3	Вдосконалення системи очистки викидів транспортно-сировинного цеху	05.01.2025 – 07.01.2025
4	Охорона праці	07.01.2025 – 09.01.2025
5	Економічна ефективність впровадження запропонованих технічних рішень	09.01.2025 – 11.01.2025
6	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	11.01.2025 – 14.01.2025
7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	14.01.2025 – 16.01.2025
8	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	17.01.2025 – 20.01.2025

Здобувач

О. М. Степаненко

Керівник

Д. С. Пікареня

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 131 с., 26 рис., 22 таблиці, 32 літературних джерела, 1 додаток.

Об'єкт дослідження: процеси забруднення атмосферного повітря внаслідок виконання операцій з сировинними матеріалами

Предмет дослідження: викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря під час вивантаження цементу в пункті розвантаження вагонів складу

Мета кваліфікаційної роботи: пошук та обґрунтування технічних рішень, направлених на скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря на підприємстві з виробництва бетону.

У вступі розглянуто проблемну ситуацію з викидами забруднюючих речовин у атмосферне повітря.

В теоретичному розділі наведені аналіз проблемної ситуації та взаємодія технологічних процесів виготовлення бетону з навколишнім середовищем.

В дослідницькому розділі надається характеристика методів, проведена оцінка ефективності роботи установок очистки газу.

У технологічному розділі проведено аналіз існуючих методів скорочення викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря та обрано для застосування на пункті розвантаження цементу заходи уловлення та очищення забрудненого повітря.

В розділі «Охорона праці» розглянуті питання впливу промислового пилу на здоров'я працівників, нормування аерозолів переважно фіброгенної дії, зроблено розрахунок пилового навантаження на працівників при проведенні робіт з вивантаження цементу, вимоги охорони праці на робочому місці.

В економічному розділі розраховані кошторисна вартість виконання робіт з облаштування пункту розвантаження цементу укриттям та установкою очистки газу та експлуатаційні витрати, економія за скорочення викидів та повернення уловленого пилу у виробництво.

В висновках наведені основні результати кваліфікаційної роботи.

**БЕТОН, ЦЕМЕНТ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ, УСТАНОВКА
ОЧИСТКИ ГАЗУ, УКРИТТЯ**

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА	2
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНОЇ СИТУАЦІЇ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ, РОЗГЛЯД ШЛЯХІВ ЇЇ ВИРІШЕННЯ	10
1.1 Основні визначення та класифікація бетону	10
1.2 Заповнювачі, їх властивості та приготування бетонної суміші	14
1.3 Взаємодія технологічних процесів виготовлення бетону з навколишнім середовищем	18
1.4 Загальна оцінка рівня екологічної небезпеки проблемного об'єкту за існуючими показниками	22
1.5 Аналіз відомих способів чи засобів для забезпечення вирішення проблемної ситуації.	25
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ УСТАНОВОК ОЧИСТКИ ГАЗУ	27
2.1 Загальна характеристика джерел забруднення атмосферного повітря	27
2.2 Методи очистки газових викидів	29
2.3 Технічні заходи спрямовані на очистку газоповітряного потоку	31
2.4 Властивості промислового пилу	34
2.5 Технології пиловловлення.	42
2.5.1 Основи вибору проектних рішень	42
2.5.2 Очищення газових викидів сухими пиловловлювачами	45
2.5.3 Апарати очистки газу.	46

3	ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ВИКИДІВ ТРАНСПОРТНО-СИРОВИННОГО ЦЕХУ	76
3.1	Опис виробничого процесу об'єкту дослідження.....	76
3.2	Властивості цементного пилу	78
3.3	Розгляд заходів можливих для впровадження на об'єкті для скорочення викидів від пункту розвантаження цементу	82
3.4	Розрахунок установки очистки газу від цементного пилу	85
4	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	98
4.1	Загальні характеристики впливу промислового пилу на здоров'я працівників	98
4.2	Особливості нормування аерозолів переважно фіброгенної дії	103
4.3	Розрахунок пилового навантаження на працівників.....	107
4.4	Вимоги охорони праці на робочому місці.....	109
5	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ.....	113
5.1	Розрахунок кошторису обладнання.....	113
5.2	Розрахунок експлуатаційних витрат	114
5.3	Розрахунок економії за викиди пилу.....	116
	ВИСНОВКИ.....	118
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	121
	ДОДАТОК А. Публікація за темою досліджень.....	125

ВСТУП

Актуальність теми. Зростання обсягів будівництва призводить до збільшення об'ємів виробництва бетону, що в свою чергу веде до більш інтенсивнішого забруднення атмосферного повітря. Життєвий цикл бетону є дуже коротким та в середньому складає біля двох годин, в разі чого його виробництво знаходиться безпосередньо в межах населених пунктів, відповідно викиди забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря від виробничих процесів справляють негативний вплив на здоров'я людини, якість її життя та стан навколишнього природного середовища. А ділянки навколо промислових об'єктів, житлові райони, які знаходяться на зовнішній межі санітарно-захисної зони підприємств є найбільш уразливими щодо впливу на них забруднюючих речовин, що викидаються підприємствами в атмосферне повітря.

Дослідження стану забруднення атмосферного повітря у м. Києві і Київській області за даними спостережень Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського показують, що рівень забруднення є стабільно високим (7,0-14,0) по всім пунктам спостережень за забрудненням атмосферного повітря, тому питання скорочення обсягів викидів є дуже актуальним та говорить про необхідність переходу до більш екологічних технологій, в тому числі і в будівельній галузі, яка дуже стрімко розвивається в регіоні¹.

Отже актуальність досліджень полягає у вивченні технологічних процесів, джерел утворення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря та визначенні шляхів щодо скорочення об'ємів надходження шкідливих речовин в навколишнє природне середовище від виробничих об'єктів, що є науковою та практичною задачею.

¹ <http://www.cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/zabrudnennia/>

Об'єкт дослідження: забруднення атмосферного повітря внаслідок виконання операцій з сировинними матеріалами

Предмет дослідження: викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря під час розвантаження цементу в пункті розвантаження вагонів.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи. Пошук та обґрунтування технічних рішень, направлених на скорочення об'ємів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря на підприємстві з виробництва бетону. Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

1. Виконати аналіз проблемної ситуації та взаємодії технологічних процесів виготовлення бетону з навколишнім середовищем.

2. Навести характеристику методів очистки забрудненого повітря, провести оцінку ефективності роботи установок очистки газу.

3. Провести аналіз існуючих методів скорочення викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря.

4. Обрати до впровадження на пункті розвантаження цементу заходи уловлення та очищення забрудненого повітря.

5. Розглянути питання впливу промислового (цементного) пилу на здоров'я працівників, зробити розрахунок пилового навантаження на працівників при проведенні робіт з розвантаження цементу, вимоги охорони праці на робочому місці.

6. Розрахувати кошторисну вартість виконання робіт за обраними до впровадження заходами, експлуатаційні витрати та економію за скорочення викидів та повернення уловленого пилу у виробництво.

За дослідженнями опубліковано тези доповіді на International scientific conference MININGMETALTECH 2024 – THE MINING AND METALS SECTOR: INTEGRATION OF BUSINESS, TECHNOLOGY AND EDUCATION «29» листопад 2024 р. (додаток А)

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНОЇ СИТУАЦІЇ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ, РОЗГЛЯД ШЛЯХІВ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

1.1 Основні визначення та класифікація бетону

Сьогодні не можливо уявити сучасне будівництво без використання бетону. Зараз це головний, незамінний будівельний матеріал без якого не обходиться жодне будівництво [1].

Бетон – це штучний каменоподібний матеріал, що отримується в підсумку затвердіння правильно підібраної, добре перемішаної та ущільненої суміші в'язучої речовини, води, заповнювачів та у необхідних випадках – спеціальних добавок. Суміш з вказаних компонентів до початку її затвердіння називають бетонною сумішшю [2, 3].

Класифікація бетонів відбувається за такими головними ознаками [4]: призначенням, середньою щільністю, видом в'язучої речовини, видом та крупністю зерен заповнювачів, структурою, умовами твердіння.

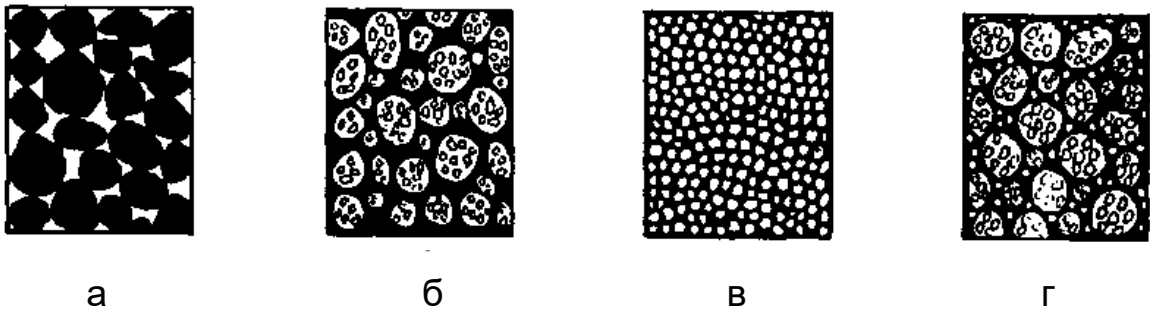
Бетони поділяються за призначенням [5] на теплоізоляційні, конструкційні, конструкційно-теплоізоляційні, хімічно стійкі, жаростійкі, радіаційно-захисні, дорожні, декоративні, напружні, гідротехнічні та ін.

В залежності від середньої щільності розрізняють особливо легкі, легкі, важкі та особливо важкі бетони.

Особливо легкі (комірчасті) бетони в яких середня щільність $< 500 \text{ кг/м}^3$ готуються на основах пороутворювача та в'язучої речовини. Вони використовуються як теплоізоляційний матеріал, який має вигляд плит, шкаралуп та інших виробів.

Легкі бетони в яких середня щільність від 500 до 2000 кг/м^3 готують на пористому великому заповнювачі та пористому чи щільному

дрібному заповнювачі. Вони використовуються як правило для виготовлення огорожувальних та несучих конструкцій (рис. 1.1).



а – крупнопористого на щільних заповнювачах; б – щільного на пористих заповнювачах; в – ніздрюватого; г – поризованого

Рисунок 1.1 - Структура легких бетонів²

Важкі бетони в яких середня щільність від 2000 до 2500 кг/м³ виготовляють на основі піску і великих заповнювачах із щільних гірських порід і застосовують у всіх несучих конструкціях.

Особливо важкі бетони в яких середня щільність перевищує 2500 кг/м³ виготовляють з додаванням особливо важких заповнювачів (магнезит, лимоніт, барит, чавунний дріб, обрізки сталі). Бетони такого класу використовують для виготовлення спеціальних конструкцій.

Класифікація бетонів за середньою щільністю - це поділ за структурною ознакою залежно від загальної пористості. Основну частку обсягу бетону посідають заповнювачі, тому щільність бетону корегують, використовуючи щільні чи пористі заповнювачі [6].

За типом в'язучої речовини бетони класифікують на такі групи: цементні, гіпсові, шлакові, вапняні, змішані та спеціальні. Цементні бетони виготовляють на основі клінкерних цементів, зокрема портландцементу, шлакопортландцементу, пуцоланового портландцементу та їхніх різновидів.

² <https://studfile.net/preview/7201795/page:24/>

Залежно від виду заповнювачів розрізняють бетони з пористими, щільними та спеціальними заповнювачами.

Бетони з пористими заповнювачами отримують із застосуванням штучних пористих матеріалів, пористих гірських порід або комбінації крупних пористих і щільних дрібних заповнювачів.

Бетони з щільними заповнювачами виготовляють на основі матеріалів із щільних гірських порід або шлаків.

Бетони зі спеціальними заповнювачами містять компоненти, що надають їм особливих властивостей. До таких заповнювачів належать, наприклад, рудовмісні породи, чавунний скрап та шамот.

За розміром зерен заповнювачів бетони поділяють на дрібнозернисті та крупнозернисті.

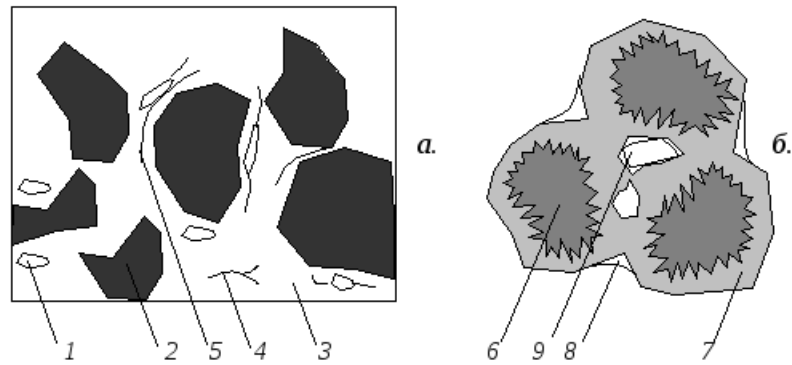
По структурі вирізняють такі види бетонів [2]:

- бетони щільної (зливої) структури. Ними вважаються бетони, простір між зернами заповнювачів в яких повністю зайнятий твердою в'язучою речовиною. Допустимий обсяг міжзернових порожнин в ущільненій бетонній суміші не повинен перевищувати 6%;

- поризовані бетони, такі, в яких простір між зернами заповнювачів займає в'язуча речовина, поризовані піноутворюючі або газоутворюючі добавки;

- ніздрюваті бетони – бетони які містять штучно створені осередки-пори, що формуються із суміші в'язучої речовини, тонкодисперсного кремнеземистого компонента та породоутворюючої добавки;

- крупнопористі бетони (безпіщані або малопіщані), такі бетони в яких вагова частка об'єму міжзернових порожнин залишається не забитою дрібним заповнювачем і затверділим в'язучим. Структура розчинної частини бетону зображено на рис. 1.2.



1 – повітряні порожнини; 2 – мілкий заповнювач; 3 – цементуюча речовина; 4, 5 – усадочні тріщини у цементуючій рідині та контактні зони; 6 – непрогідратоване цементне ядро; 7 – новоутворення; 8 – поверхнева волога; 9 – структурна пора
Рисунок 1.2 - Фрагменти структури розчинної частини бетону: а – макроструктура; б – мікроструктура³

За умовами твердіння бетони поділяють на такі групи:

Природного твердіння – затвердівають за температури 15–20°C при атмосферному тиску.

Піддані тепловій обробці – твердіння прискорюється завдяки підвищеній температурі (70–90°C) при атмосферному тиску.

Автоклавного твердіння – затвердівають у спеціальних камерах (автоклавах) за температури 175–200°C і тиску пари 0,9–1 МПа.

Твердіння без контакту з пароповітряним середовищем – бетон набирає міцність під впливом тепла, але без прямого контакту з вологою.

Твердіння при негативних температурах – спеціально розроблені суміші дозволяють бетону затвердівати навіть у холодних умовах.

Для досягнення нормальної міцності бетону необхідно забезпечити позитивну температуру (15–25°C) та стабільну вологість. Особливо важливо дотримуватися цих умов у перші 10–15 діб, оскільки в цей період бетон набирає необхідну міцність, досягаючи показника 6 МПа.

³ <https://studfile.net/preview/7201795/page:23/>

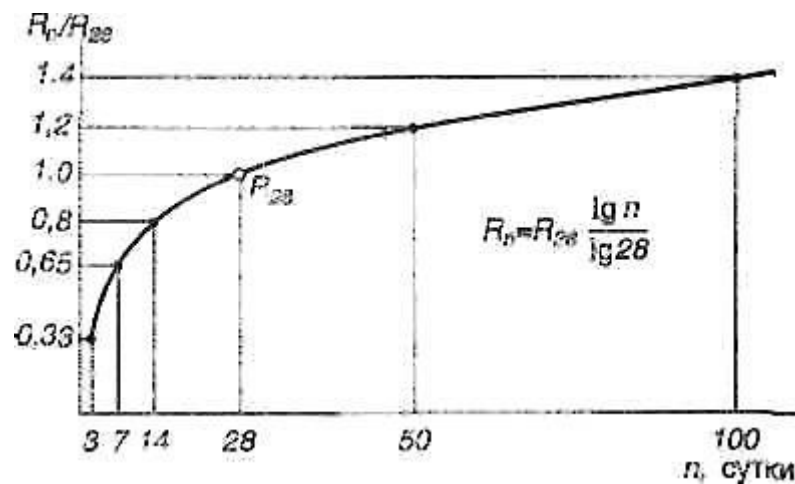


Рисунок 1.3 - Зміна міцності бетону в часі в умовах нормального твердіння: R - марочна міцність бетону; n - час твердіння, днів⁴

Міцність будівель і споруд визначається не лише правильно обраним типом цементу, а й іншими заповнювачами, які застосовуються в бетоні як додаткові складові.

1.2 Заповнювачі, їх властивості та приготування бетонної суміші

Якість заповнювачів має значний вплив на властивості бетону. Їх оцінюють за такими критеріями:

- Фізико-механічні властивості, зокрема міцність, морозостійкість, ударостійкість, стиранність, щільність, пористість, водопоглинання, об'ємна вага в шматку та насипна щільність.
- Геометричні характеристики, серед яких зерновий склад, крупність, форма, ступінь окатаності, шорсткість поверхні, чистота, якість матеріалу, а також наявність шкідливих або забруднюючих домішок, слабких та нестійких включень, петрографічна однорідність.

Вимоги до заповнювачів для бетонної суміші [7, 8, 9].

⁴ <https://studfile.net/preview/9482129/page:3/>

Вимоги до бетону обумовлені характером об'єкта, що будується. Конструкції з важкого бетону, наприклад, потребують чистоти заповнювача. У регіонах із суворим кліматом потрібні морозостійкі матеріали, а в зонах із помірним – добавки, що прискорюють затвердіння. Великі заповнювачі (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Крупні заповнювачі (гравій, щебінь)

Гравій – один із найбільш затребуваних заповнювачів, що підходить для різних бетонних сумішей. Це осадова гірська порода з пухкою структурою та вкрапленнями мінералів. Гранули гравію мають розмір від 5 до 70 мм, його насипна щільність у середньому становить 1400 кг/м^3 , міцність – до 1200, а морозостійкість – F-350.

Граніт – найміцніший і довговічний серед крупних заповнювачів. Його щільність може досягати 1700 кг/м^3 . Як і гравій, гранітний щебінь випускається у вигляді дрібних, середніх і великих фракцій (5-70 мм). Завдяки низькому водопоглинанню матеріал має високу морозостійкість. Містить мінімальну кількість пилу, що робить його ідеальним для будівництва доріг, фундаментів, підпірних стін і мостів.

Щебінь отримують шляхом дроблення гірських порід або відходів гірничодобувної та будівельної промисловості (цегли, шлаку, золи). Він не містить сторонніх домішок. Гранули щебню мають кутасту форму, часто нагадуючи куб, і відрізняються різноманітним забарвленням. На

відміну від гравію та граніту, його поверхня більш шорстка, що забезпечує високу адгезію та підвищену міцність бетону.

Керамзит виготовляється з глини методом високотемпературного випалу. У процесі термічної обробки зовнішні шари матеріалу оплавляються, що надає йому гладку поверхню та характерне забарвлення. Пориста структура формується за рахунок газів, що виділяються під час випалу. Дрібні заповнювачі (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Дрібний заповнювач (пісок)

Використання дрібних заповнювачів у бетонних сумішах суттєво впливає на кінцеві характеристики матеріалу, зокрема на його міцність, безусадковість і морозостійкість.

Роль заповнювачів у бетонах та розчинах [9].

Дані речовини виконують такі завдання:

1. Скорочують витрати цементу. Такі матеріали займають значну частину обсягу бетонного розчину, роблячи його доступнішим за вартістю.

2. Підвищують стійкість застиглого бетону до виникнення тріщин. Цементний камінь без таких добавок більш схильний до розколювання у зв'язку зі схильністю до усадки і деформації. Сучасні заповнювачі грають роль жорсткого кістяка бетону, знижуючи його усадку в порівнянні з усадкою цементу без подібних добавок у кілька разів.

3. Збільшують міцність затверділого бетонного розчину, покращують модуль пружності бетону. Жорсткий скелет із заповнювача мінімізує деформацію конструкції під впливом навантаження, знижує повзучість бетону. Таким чином, бетонний розчин після затвердіння захищається від виникнення незворотних пластичних деформацій різного характеру.

4. Пористі, легкі заповнювачі зменшують теплопровідність та щільність бетону. Завдяки цьому такий розчин можна використовувати для створення огорожувальних або теплоізоляційних конструкцій.

5. Спеціальні гідратні та особливо важкі заповнювачі надають конструкції з бетону стійкості до проникаючої радіації.

Завод із виробництва бетону та залізобетонних виробів має розвинену транспортну інфраструктуру, включаючи залізничні під'їзні колії та автомобільні під'їзди. Це забезпечує ефективне постачання сировини та відвантаження готової продукції як залізничним, так і автотранспортом.

Підприємство та його інфраструктура відіграють ключову роль у взаємодії між виробником, вантажовідправниками та вантажоодержувачами. Важливо, щоб завод працював максимально ефективно, мінімізуючи вплив на довкілля.

Завод спеціалізується на виготовленні залізобетонних конструкцій для каркасних споруд соціального та громадського призначення, а також випускає загальнобудівельну продукцію: товарні бетони та розчини, фундаментні блоки, дорожні плити, фігурні елементи мощення тощо. Виробництво здійснюється за різними технологіями, зокрема стендовою, касетно-стендовою, агрегатною, конвеєрною та безпалубною.

Процес виготовлення збірних бетонних і залізобетонних виробів з важкого та легкого бетону для всіх видів будівництва включає такі етапи:

- приймання, складування, зберігання та транспортування сировини, напівфабрикатів і комплектувальних елементів;

- приготування та подачу бетонних і розчинних сумішей;
- виробництво, складування та транспортування арматурних виробів і закладних елементів;
- приготування мастильних матеріалів та підготовку форм;
- армування;
- формування та оздоблення виробів;
- твердіння в природних умовах;
- розпалублення, доопрацювання, контроль якості, складування, зберігання та транспортування готової продукції.

Усі технологічні процеси регламентуються відповідними стандартами, технічними умовами та проектною документацією.

Приймання, складування та зберігання інертних матеріалів здійснюється відповідно до встановлених стандартів, з поділом за видами, марками та фракціями. Матеріали розміщують у закритих складах, відкритих майданчиках під навісом або у силосних сховищах. Вивантаження здійснюється у спеціально облаштованих пунктах, після чого матеріали транспортуються бульдозерами, конвеєрами або пневмотранспортом.

До основних інертних матеріалів, що використовуються на підприємстві, належать пісок, щебінь, гравій, граніт і керамзит. Головним в'язучим компонентом при виробництві бетону є цемент загальнобудівельного призначення, виготовлений на основі портландцементного клінкеру.

1.3 Взаємодія технологічних процесів виготовлення бетону з навколишнім середовищем

Атмосферне повітря - життєво важливий компонент навколишнього природного середовища, який являє собою природну

суміш газів, що знаходиться за межами жилих, виробничих та інших приміщень [10].

Забруднююча речовина - речовина хімічного або біологічного походження, що присутня або надходить в атмосферне повітря і може прямо або опосередковано справляти негативний вплив на здоров'я людини та стан навколишнього природного середовища.

Забруднення атмосферного повітря - змінення складу і властивостей атмосферного повітря в результаті надходження або утворення в ньому фізичних, біологічних факторів і (або) хімічних сполук, що можуть несприятливо впливати на здоров'я людини та стан навколишнього природного середовища [10].

Виробничо-господарська діяльність заводу з виробництва бетону та залізобетонних виробів має значний вплив на навколишнє природне середовище. Це зумовлено такими процесами, як приймання, складування, зберігання та транспортування матеріалів, приготування і транспортування бетонних сумішей, формування та оздоблення виробів. У ході цих операцій утворюються як організовані, так і неорганізовані джерела викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Функціонування заводу спричиняє забруднення природних комплексів через викиди шкідливих речовин, серед яких тверді суспендовані частинки, оксиди вуглецю, оксиди азоту тощо. Також утворюються стічні води і виробничі відходи. Екосистема навколо підприємства характеризується здатністю підтримувати стабільний стан у межах допустимих антропогенних змін у природних комплексах поблизу заводу.

Середньорічний обсяг викидів забруднюючих речовин від діяльності підприємства становить близько 895 тонн.

Зростання обсягів будівництва в регіоні, де розташований завод, спричиняє підвищення виробництва бетону, що, у свою чергу, призводить до посилення забруднення атмосферного повітря.

Життєвий цикл бетону є дуже коротким, складаючи в середньому близько двох годин, через що його виробництво зазвичай здійснюється в межах населених пунктів. Як наслідок, викиди забруднюючих речовин, що утворюються під час виробничих процесів, негативно впливають на здоров'я людей, якість життя та стан довкілля. Найбільш вразливими до впливу цих чинників є території поблизу промислових об'єктів і житлові райони, розташовані на зовнішній межі санітарно-захисних зон підприємств.

Дослідження стану забруднення атмосферного повітря в Києві та Київській області, проведені на основі спостережень Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського, свідчать про стабільно високий рівень забруднення (7,0–14,0) на всіх пунктах моніторингу. Це робить питання скорочення викидів особливо актуальним та підкреслює необхідність переходу до екологічно орієнтованих технологій, зокрема в будівельній галузі, яка динамічно розвивається в регіоні⁵.

Під час роботи заводу в атмосферу викидаються різноманітні забруднюючі речовини, що впливають на довкілля та здоров'я людей. Зокрема:

- у повітря потрапляють тверді суспендовані частинки, такі як мікрочастинки та волокна, які погіршують якість повітря та можуть викликати респіраторні захворювання.

- відбуваються викиди діоксиду вуглецю (CO_2), що посилюють парниковий ефект і сприяють зміні клімату.

- здійснюються викиди оксидів азоту, перераховані на діоксид азоту ($\text{NO} + \text{NO}_2$). Ці сполуки сприяють формуванню фотохімічного смогу та кислотних дощів, а також негативно впливають на дихальну систему.

Викиди забруднюючих речовин спричиняють:

⁵ <http://www.cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/zabrudnennia/>

- економічні збитки;
- екологічну шкоду через забруднення атмосферного повітря, ґрунтів і водойм.

Тривале забруднення ґрунту та водних об'єктів призводить до накопичення токсичних речовин, осідання пилу на поверхні землі та його потрапляння у водойми, що значно погіршує стан екосистем. Також це негативно впливає на рослинність, знижуючи її життєздатність, та шкодить здоров'ю тварин, які можуть споживати забруднену воду чи рослини. Забруднення компонентів навколишнього середовища часто супроводжується значними економічними втратами через сплату штрафів і витрати на реалізацію заходів із ліквідації екологічних наслідків.

Для ефективного управління викидами забруднюючих речовин підприємству необхідно виконати кілька ключових завдань:

- провести оцінку поточного рівня забруднення;
- визначити та проаналізувати потенційні ризики;
- розробити заходи для захисту довкілля.

У процесі вирішення цих завдань важливо врахувати специфічні властивості забруднюючих речовин з огляду на особливості їх викидів.

До основних джерел негативного впливу на навколишнє середовище належить забруднення атмосферного повітря, спричинене діяльністю як неорганізованих, так і організованих джерел викидів. До категорії неорганізованих джерел належать такі об'єкти, як пункти розвантаження цементу з вагонів, пункти фасування цементу в паперові мішки, пункти розвантаження золи з вагонів, місця розвантаження щебеню, склади дрібних наповнювачів, склади наповнювачів, склади керамзиту, розподільчі склади піску, приймальні бункери складу піску, склади сіяного піску тощо. До організованих джерел відносяться, зокрема, силоси для зберігання в'яжучих матеріалів, завантажувальна повітродувка для перевантаження золи в автоцистерни, аераційні

ліхтарі, вентиляційні труби (зокрема місця обтрушування піддонів та вібропресу на формувальних лініях), а також труби установок для очищення газів від обладнання столярного цеху.

1.4 Загальна оцінка рівня екологічної небезпеки проблемного об'єкту за існуючими показниками

Цемент – це дрібно помелений неметалевий неорганічний порошок, який у суміші з водою утворює пасту, що тужавіє і твердіє. Таке гідравлічне твердіння зумовлене головним чином утворенням гідросилікатів кальцію в результаті реакції між водою, що використовується для замішування, та компонентами цементу.

Цемент – це основний матеріал, що використовується у зведенні будівель та цивільному будівництві. У Європі використання цементу та бетону у великих будівельних роботах відоме ще з античних часів. Портландцемент – найбільш широкоживаний цемент у бетонному будівництві – був запатентований у 1824 році. Випуск продукції у цементній промисловості безпосередньо пов'язаний зі станом будівельного бізнесу у цілому, а отже, є чітким індикатором загальної ситуації в економіці [11].

Цемент є одним із ключових будівельних матеріалів і використовується як в'язучий елемент при виготовленні бетону та різноманітних бетонних конструкцій. Різноманітність цементних видів формується завдяки регулюванню хіміко-мінералогічного складу клінкеру та додаванню під час помолу мінеральних і органічних компонентів різного походження та кількісного співвідношення.

Основу цементу становить клінкер – продукт високотемпературного випалу (1300-1450 °C) сировинної суміші, яка складається з карбонатних матеріалів (вапняк, крейда) і алюмосилікатних речовин (глина, мергель). До складу також входять

добавки природного чи техногенного походження, що сприяють утворенню таких сполук, як силікати, алюмінати та алюмоферити кальцію, а також залишкової склофази. Склад цементу виражають зазвичай процентним вмістом CaO , SiO_2 , Al_2O_3 і Fe_2O_3 . Звичайний, або силікатний цемент містить: CaO (60-67 %); SiO_2 (17-25 %); Al_2O_3 (3-8 %); Fe_2O_3 (0,3-6 %).

Сукупність будівельно-технічних характеристик цементу визначає його здатність формувати після твердіння міцний і довговічний камінь, що відповідає встановленим критеріям якості. Проте значну стурбованість викликають викиди цементного пилу, які суттєво забруднюють навколишнє середовище. Хімічний склад цементного пилу наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад цементного пилу

Основні компоненти	Речовини	Вміст у пробі, %
Вапняк	CaCO_3	49,3
Кремнезем	SiO_2	15,02
Оксид металів	SO_3	9,4
	Al_2O_3	9,2
	MgO	2,5
	Fe_2O_3	1,4
	Na_2O	1,5
	K_2O	2,1
Важкі метали		0,35
Продукти прожарювання		2,5
Невияснені елементи		6,9

Атмосфера має здатність частково самоочищуватися від промислових забруднень, зокрема пилу, через осадження твердих

частинок, їх вимивання опадами, а також розчинення й поглинання шкідливих речовин рослинністю.

Проте забруднюючі речовини накопичуються, і в окремих регіонах їхня концентрація досягає критично високого рівня. Запиленість повітря негативно впливає на кліматичні умови. Пил, що піднімається вище хмар, не може бути очищений опадами, через що атмосфера стає затуманеною. Це спричиняє погіршення видимості, збільшення частоти виникнення туманів, зростання кількості опадів і хмарності, а також зміну руху повітряних потоків. Над центральною частиною міста формується конвективний потік, який провокує переміщення повітря з периферії, часто насиченої промисловими викидами, до центру. Унаслідок цього в центрі міста значно зростає концентрація шкідливих речовин.

Забруднення атмосфери завдає значної матеріальної шкоди економіці, що зумовлено прискореним руйнуванням будівельних матеріалів, металів, гуми, текстилю, паперу, фарб тощо. Наприклад, швидкість корозії заліза у промислових містах перевищує аналогічний показник у містах зі слабо розвинутою промисловістю втричі, а порівняно із сільською місцевістю – у двадцять разів.

Атмосферні викиди також мають опосередкований вплив на гідросферу, оскільки накопичуючись у ґрунтових водах та донних відкладах, вони можуть спричиняти вторинне забруднення. Одним із ключових аспектів забруднення ґрунтів є дія важких металів, які потрапляють на поверхню й до ґрунтових вод. Важкі метали накопичуються в ґрунтовій товщі, передусім у верхніх гумусових горизонтах, і повільно видаляються внаслідок вилугування, виведення рослинами чи ерозії. Їх зараховують до найбільш небезпечних забруднювачів через високий рівень токсичності.

Окрім цього, зважені частки цементного пилу проявляють сумарний ефект негативного впливу на довкілля, що посилює ризики для екосистем і здоров'я населення.

У процесах виробництва бетону, зі зростанням його обсягів, пропорційно збільшується рівень пиловиділення цементу в робочих зонах заводу та на прилеглих територіях. У цехах і на технологічних дільницях із організованими джерелами пилових викидів, незважаючи на високий рівень запиленості, концентрація пилу не перевищує гранично допустимих концентрацій (ГДК). Водночас у виробничих підрозділах із неорганізованими джерелами викидів, де відсутні системи пилопригнічення (наприклад, у транспортно-сировинних цехах), рівень пилу може перевищувати ГДК у 5 і більше разів.

1.5 Аналіз відомих способів чи засобів для забезпечення вирішення проблемної ситуації

Основними джерелами утворення пилу на бетонних заводах є ділянки розвантаження сировини, процеси її пересипання та транспортування за допомогою конвеєрних ліній. У бункерах, під час розвантаження сировини із залізничних вагонів, рівень запиленості повітря в декілька десятків разів перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК). Зафіксовано, що при надходженні сипучих матеріалів у бункери із вагонів концентрація пилу може досягати показників у межах 270-1500 мг/м³ і більше, що істотно перевищує нормативи ГДК.

Висока концентрація пилу на робочих місцях бетонних заводів зумовлена специфікою та організацією технологічних процесів. Вирішальними факторами є рівень герметичності обладнання, наявність систем очищення газу і їх ефективність. Проведені дослідження із застосуванням дисперсійного аналізу промислового пилу в ключових виробничих підрозділах бетонного заводу дозволяють

класифікувати їх за рівнем вмісту дрібнодисперсного пилу на три групи (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Вміст дрібнодисперсного пилу в повітрі (< 15 мкм)

Назви груп дрібнодисперсного пилу	Частка від маси
I група – пил який виділяється із сировини, що транспортується	28-35 %
II група – пил який надходить в атмосферу робочих зон	28-35 %
III група – пил, який виділяється в атмосферу при розвантаженні	64-67 %

Основним джерелом викидів пилу є операції, пов'язані з прийманням сировинних матеріалів. Найбільш проблемним та небезпечним об'єктом серед неорганізованих джерел викидів підприємства вважається пункт розвантаження цементу (джерело викиду №1). Процес розвантаження цементу з вагонів-цементовозів, обладнаних засобами саморозвантаження, здійснюється пневматичним способом на спеціально облаштованому пункті вивантаження. Проте у чинному дозволі на викиди забруднюючих речовин у атмосферу, який охоплює стаціонарні джерела, в розділі 2 «Умови, які встановлюються в дозволі на викиди», відсутні будь-які заходи, спрямовані на мінімізацію викидів цементного пилу.

Метою цієї роботи є розроблення технічних і технологічних рішень для зниження обсягів викидів цементного пилу під час його розвантаження з вагонів-цементовозів. Це дозволить зменшити техногенний вплив на довкілля та пом'якшити негативні наслідки від планованої діяльності. Зокрема, завдання охоплює підвищення безпеки життєдіяльності людей, збереження їх здоров'я, захист флори, фауни, біорізноманіття, ґрунтів, атмосферного повітря, водних ресурсів, клімату, ландшафтів і природоохоронних територій. Окрім цього, передбачається зниження ризиків для соціально-економічних умов, які залежатимуть від змін зазначених факторів.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ УСТАНОВОК ОЧИСТКИ ГАЗУ

2.1 Загальна характеристика джерел забруднення атмосферного повітря

Однією з актуальних екологічних проблем є утворення пилу під час розвантаження та транспортування сипучих матеріалів. Процес їх розвантаження зазвичай проводиться на майданчиках, відкритих з обох боків, що створює умови для впливу погодних чинників, таких як вітер. Це, у свою чергу, сприяє значному поширенню пилу, що забруднює навколишнє середовище і створює потенційні ризики для здоров'я людей.

Атмосферне повітря перебуває в постійному русі, що зумовлює розчинення шкідливих речовин у його великому об'ємі та подальше транспортування цих речовин на значні відстані. Унаслідок цього концентрація забруднювачів у повітрі поступово знижується, однак одночасно зростають масштаби територій з атмосферою, забрудненою шкідливими елементами.

Метеорологічні умови відіграють ключову роль у процесах забруднення атмосфери та поширення в ній шкідливих речовин. Горизонтальні потоки повітря (вітрові явища) можуть переносити забруднюючі речовини на десятки, сотні і навіть тисячі кілометрів. Отже, найефективнішим способом охорони атмосферного повітря є не збільшення розсіювання забруднювачів через висотні труби, а радикальне скорочення або цілковите усунення їхніх викидів.

Водночас при низькій швидкості вітру відбувається накопичення шкідливих речовин у невеликих об'ємах повітря, що здатне спричинити небезпечне зростання їх концентрації поблизу джерела емісії. Подібна

ситуація може виникати і за умов температурної інверсії, що перешкоджає вертикальному руху повітряних мас і сприяє утриманню забруднень в атмосферних шарах поблизу земної поверхні.

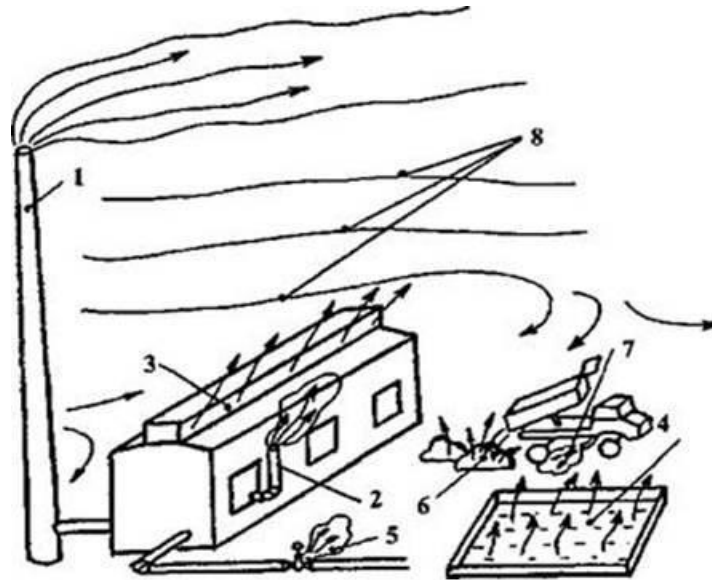
Інтенсивність утворення пилу значною мірою залежить від погодних умов, таких як швидкість вітру, кількість опадів, температура та рівень вологості, що значно ускладнює як прогнозування, так і контроль за обсягом викидів. Організація процесу розвантаження сипучих матеріалів із залізничних вагонів відповідно до погодних умов призводить до додаткових матеріальних витрат, пов'язаних із оплатою за затримку вагонів.

Сипучі матеріали відрізняються хімічним складом, фракційним складом та фізичними характеристиками, що впливає на інтенсивність їх пиловиділення та характер викидів.

Викиди забруднюючих речовин або їх сумішей в атмосферу можна класифікувати за чотирма основними параметрами: агрегатним станом, хімічним складом, розміром частинок і масовою витратою речовини.

Джерела викидів (об'єкти (підприємство, цех, агрегат, установка, транспортний засіб тощо), з яких надходить в атмосферне повітря забруднююча речовина або суміш таких речовин) промислових підприємств бувають стаціонарними (джерела 1 – 6, рисунок 2.1), коли координата джерела викиду не змінюється в часі, і пересувними (нестаціонарними) (джерело 7 - автотранспорт).

Джерела викидів забруднюючих речовин в атмосферу поділяються на організовані та неорганізовані. Організовані джерела передбачають надходження забруднюючих речовин через спеціально збудовані конструкції, такі як газоходи, димові труби, аераційні ліхтарі чи інші пристрої, які забезпечують відведення пилогазоповітряних сумішей. Неорганізовані джерела, натомість, характеризуються неконтрольованим виходом забруднюючих речовин у повітря у вигляді неупорядкованих потоків, без використання спеціалізованих споруд для їх відведення.



1 – висока димова труба; 2 – низька димова труба; 3 – аераційний ліхтар цеху;
 4 – випаровування з поверхні басейну; 5 – витікання через нещільність обладнання; 6 – пиління при розвантаженні сипких матеріалів; 7 – вихлопна труба автомобіля; 8 – напрям руху потоків повітря
 Рисунок 2.1 – Джерела забруднення атмосфери⁶

В процесі викиду в атмосферу забруднюючі речовини представлені у формі сумішей пилу, диму, туману, пари та газів. Розміри пилинок варіюються від сотих часток до кількох десятків мікрометрів.

Мікрометр, або мікрон (скорочення: мкм, мк, міжнародне: μm) – частинна одиниця вимірювання довжини в SI, яка дорівнює 10^{-6} метра. $1 \text{ мкм} = 0,001 \text{ мм} = 0,0001 \text{ см} = 0,000001 \text{ м}$ [12].

2.2 Методи очистки газових викидів

Методи очищення відходів, утворених стаціонарними джерелами газових викидів, класифікуються на організаційні та технічні заходи, спрямовані на запобігання або зменшення обсягу забруднювальних речовин, що потрапляють в атмосферне повітря. Технічні заходи орієнтовані на очищення газоповітряного потоку, тоді як організаційні зосереджені на попередженні викидів на етапі їх утворення. Сучасний

⁶ <https://ppt-online.org/881934>

рівень розвитку технологій забезпечує високий рівень ефективності очищення газоповітряних потоків перед їхнім потрапленням до атмосфери. Для досягнення таких показників необхідне впровадження технологічних процесів та використання обладнання, які забезпечують уловлювання забруднювальних речовин, сприяють скороченню або повній ліквідації їхніх викидів, а також передбачають експлуатацію виробничих установок з мінімальним рівнем виділення шкідливих речовин. Технічні методи очищення доцільно поділити на декілька груп:

- очистка вихідних газів від газоподібних забруднюючих речовин (CO_2 , NO_2 , SO_2 , SO_3 та інші);
- зменшення рівня забруднення, що утворюється внаслідок викидів вихлопних газів під час функціонування обладнання.
- скорочення обсягів викидів, пов'язаних із транспортуванням сировини, включаючи процеси завантаження та розвантаження.
- ефективне уловлювання твердих суспендованих частинок із газоповітряного потоку.

Технічні методи очищення викидів забруднюючих речовин з атмосферного повітря класифікуються наступним чином:

- хімічні;
- фізичні;
- механічні;
- фізико-хімічні;
- комбіновані.

У сучасній практиці очищення викидів застосовуються різноманітні методи, які класифікуються на хімічні, фізичні, механічні, фізико-хімічні та комбіновані. Хімічні методи включають процеси відновлення, окислення, термоокислення, нейтралізації та каталізації. Фізичні методи базуються на механізмах конденсації, охолодження, кристалізації, а також на використанні електростатичних і електричних полів та поглинання забруднювачів. Механічні методи передбачають

застосування таких фізичних сил і принципів, як гравітація, інерція, сепарація, дифузія та відцентрові сили.

Фізико-хімічні методи очищення об'єднують принципи абсорбції, адсорбції, хемосорбції, флотації і коагуляції. У свою чергу, комбіновані методи передбачають інтеграцію кількох підходів до очищення викидів для досягнення ефективнішого результату. Вибір методу очищення залежить від обсягу відхідних газів та їхнього хімічного і фізичного складу. Зокрема, для видалення грубодисперсного пилу з газових потоків найбільш придатним є механічний метод, який забезпечує його осадження завдяки дії гравітаційних, інерційних або відцентрових сил.

Механічна очистка може бути реалізована у двох формах: сухій і мокрій. З огляду на можливість повторного використання уловленого пилу у виробничих процесах та мінімізацію утворення додаткових відходів, з економічної точки зору сухий тип очищення має перевагу. Однак для визначення оптимальної системи пиловловлювання необхідно враховувати низку факторів, таких як кількість пилу, його фізико-хімічні властивості, розмір частинок, наявність водяної пари в газовому потоці та швидкість переміщення газової фази.

2.3 Технічні заходи спрямовані на очистку газоповітряного потоку

Основні способи очищення газів від забруднюючих речовин поділяються на дві основні категорії: фізико-механічні та фізико-хімічні.

Фізико-механічні методи переважно застосовуються для очищення гетерогенних газових систем, які включають аерозолі та газові суспензії. У таких системах суцільною (дисперсійною) фазою виступає газ або суміш газів, тоді як дискретна (дисперсна) фаза представлена зваженими твердими або рідкими частинками різного розміру. Таким чином, гетерогенна газова система складається з

твердих частинок або дрібних крапель рідини, що знаходяться у газоподібному середовищі.

Аерозолі умовно поділяють на:

- власне аерозолі (розмір частинок або крапель від 0,01 до 0,1 мкм);
- дим (розмір твердих частинок від 0,1 до 5 мкм);
- пил (розмір твердих частинок від 5 до 100 мкм);
- туман (розмір крапель рідини від 0,1 до 5 мкм).

Газосуспензія представляє собою гетерогенну газову систему, в якій розмір твердих частинок або крапель рідини перевищує 100 мкм. Для очищення гомогенних газових систем, спрямованого на вилучення шкідливих газоподібних або пароподібних речовин із газових сумішей, здебільшого застосовують фізико-хімічні методи.

У межах фізико-механічних підходів до очищення газових сумішей у різних типах обладнання використовуються один чи кілька механізмів осадження (виділення) частинок із газового потоку. Зокрема, процес гравітаційного осадження, або седиментації, здійснюється під впливом сили тяжіння, що діє на частинки під час їх переміщення через газоочисний апарат.

Водночас відцентрове осадження відбувається за рахунок дії відцентрових сил на частинки, які рухаються в межах газоочисного обладнання по криволінійних траєкторіях.

Інерційне осадження відбувається під впливом сил інерції, які виникають при різких змінах напрямку руху частинок у процесі проходження гетерогенної системи крізь газоочисний апарат.

Осадження шляхом зачеплення (контакту) здійснюється завдяки поверхневим силам, що активізуються під час контакту частинок із фільтрувальними перегородками, плівками рідини, краплями або робочими елементами газоочисного обладнання в момент протікання через них гетерогенних систем.

Електричне осадження працює за принципом впливу електричного поля, яке діє на заряджені частинки під час їхнього руху через газоочисний апарат.

Дифузійне осадження викликане постійним впливом молекул газу, що перебувають у броунівському русі, на частинки. Це призводить до їхнього осідання на поверхнях обтічних тіл або стінках газоочисного обладнання.

Метод конденсації базується на явищі зниження тиску насиченої пари шкідливої речовини при зменшенні температури парогазової суміші. У результаті формується туман, який осідає на робочих поверхнях газоочисного апарату або на краплях зрошувальної рідини.

Таблиця 2.1 Фізико-механічні методи очищення газу

Фізико-механічні методи очищення	Сухі методи	Пилоосаджувальні камери
		Інерційні пиловловлювачі
		Динамічні пиловловлювачі
		Відцентрові пиловловлювачі
		Фільтрувальні пиловловлювачі
	Мокрі методи	Порожністі газопромивачі
		Насадкові газопромивачі
		Тарілчасті газопромивачі
		Ударно-інерційні газопромивачі
		Відцентрові осаджувачі
		Механічні осаджувачі
		Швидкісні осаджувачі
		Фільтрувальні осаджувачі
	Електричні методи	Сухі електрофільтри
		Мокрі електрофільтри
	Конденсаційні методи	Поверхневі конденсатори
		Конденсатори змішування

2.4 Властивості промислового пилу

Для розробки ефективної технології очищення пилогазових потоків, що виділяються у місцях їх утворення, необхідно враховувати ключові властивості пилу. До них належать такі характеристики, як хімічний склад, щільність, абразивність, кут природного укосу, змочуваність, питома електропровідність, форма та структура частинок, дисперсність, токсичність, займистість, вибухонебезпечність, а також адгезійні властивості.

Хімічний склад пилу визначається специфікою виробничих процесів і технологічними умовами формування його частинок. На основі цього показника оцінюються такі властивості пилу, як токсичність та здатність провокувати корозійні процеси.

Поняття щільності пилоподібних частинок охоплює такі визначення:

- насипна щільність визначається як маса одиниці об'єму частинок, які вільно засипаються в мірну ємність одразу після заповнення. При цьому враховується об'єм частинок разом із порожнинами та міжчастинковим простором.

- насипна щільність при струшуванні відображає масу одиниці об'єму пилу, коли частинки максимально ущільнені за допомогою струшування.

Насипна густина ущільненого шару пилу перевищує густину свіжонасипаного в 1,2-1,5 рази. Ця характеристика є важливою під час виконання розрахунків і проектування бункерів, транспортних резервуарів та обладнання для завантаження пилу.

Абразивність частинок визначається їхньою здатністю спричиняти зношення стінок конструкцій та апаратів, з якими взаємодіє пилогазовий потік. Цей параметр залежить від твердості та густини матеріалу, з якого утворено пил, розмірів і форми частинок, а також швидкості потоку.

При високій абразивності пилу трубопроводи для повітря і газу, а також стінки апаратів для уловлювання пилу, зазнають інтенсивного зносу, що може істотно скоротити термін їхньої експлуатації.

Абразивність пилу є важливим фактором, який необхідно враховувати при виборі матеріалів і товщини стінок каналів, крізь які переміщується пилогазовий потік, а також під час проектування апаратів для очищення цих потоків. Крім того, в окремих випадках необхідно обмежувати швидкість руху потоків для зменшення впливу абразивності. За потреби застосовуються спеціальні захисні облицювальні матеріали, що підвищують стійкість конструкцій до зносу.

Зношування металевих елементів під впливом абразивного пилу максимуму досягає зі збільшенням розміру частинок до 80 мікронів. Однак при подальшому зростанні розмірів частинок їхні абразивні властивості починають зменшуватися.

Питомою поверхнею пилу називають співвідношення загальної поверхні всіх частинок до їхньої маси або об'єму. Цей показник впливає на такі характеристики пилу, як його реакційна активність, здатність до зволоження тощо.

Змочуваність частинок пилу характеризується їх здатністю взаємодіяти з рідинами. Загалом зменшення розміру частинок призводить до погіршення їхньої змочуваності. При цьому гладкі частинки мають кращу схильність до змочування порівняно з тими, що мають нерівну поверхню. Останні, як правило, покриті адсорбованою газовою оболонкою, яка ускладнює процес змочування рідиною.

Залежно від характеру змочування, тверді тіла класифікуються на три основні групи:

- 1) гідрофільні матеріали, які добре змочуються. До них належать кальцій, кварц, більшість силікатів, окислені мінерали та галогеніди лужних металів;

2) гідрофобні матеріали, що погано змочуються. Серед них графіт, вугілля та сірка;

3) абсолютно гідрофобні матеріали, такі як парафін, тефлон і бітуми.

Гігроскопічність пилу визначається як його здатність поглинати вологу з навколишнього середовища до досягнення стану рівноваги з вмістом вологи в цьому середовищі. Поглинута пилом волога змінює такі характеристики, як електропровідність, здатність до злипання, сипучість та інші фізичні властивості.

Кількість вологи в пилу характеризується величиною вологовмісту або вологості. Вологовміст (w кг/кг) визначається як відношення маси вологи в пилу до маси абсолютно сухого пилу, тоді як вологість (w відсотках) розраховується як відношення маси вологи до загальної маси вологого пилу.

Питомий електричний опір шару пилу ($\rho_{шп}$) залежить від властивостей окремих частинок, таких як поверхнева й об'ємна електропровідність, форма і розміри частинок. Також на цей показник впливають структура шару та параметри газового потоку. Питомий електричний опір шару пилу відіграє ключову роль у роботі електрофільтрів, значно впливаючи на їхню ефективність.

Залежно від питомого електричного опору пилу, його поділяють на три основні групи:

1) низькоомний пил $\rho_{шп} < 10^4$ Ом·см. Під час осадження на електроді частинки пилу швидко розряджаються, що може стати причиною їх повторного вилучення;

2) пил з $\rho_{шп} = 10^4 - 10^{10}$ Ом·см. Цей пил ефективно затримується електрофільтром, оскільки розрядження частинок відбувається поступово, протягом часу, необхідного для утворення шару;

3) пил з $\rho_{\text{шп}} = 10^{10} - 10^{13}$ Ом·см. Уловлювання пилу цієї категорії в електрофільтрах супроводжується значними труднощами. Частинки такого пилу формують на електроді пористий ізолювальний шар.

Застосування електричного пиловловлення найбільш ефективно для пилу другої групи. При цьому важливим фактором є зміна питомого електричного опору (ПЕО) одного й того самого пилу за різних умов навколишнього середовища. Величина ПЕО пилу визначається поверхневою і внутрішньою (об'ємною) провідністю. Через адсорбцію вологи та газів на поверхні пилових частинок утворюється специфічний шар, який за своїми властивостями відрізняється від основного матеріалу і забезпечує поверхневу провідність. Внутрішня провідність, своєю чергою, зумовлена електронною або іонною провідністю матеріалу частинок, яка підвищується зі збільшенням температури завдяки зростанню енергії електронів. Тому під час нагрівання пилу від кімнатної температури до 300°C величина ПЕО може змінитися на два порядки.

При кімнатній температурі пилові частинки зазвичай адсорбують вологу з повітря, що спричиняє низьке значення поверхневої складової опору. У міру підвищення температури до $90-180^{\circ}\text{C}$ волога випаровується, і поверхнева складова опору зростає, що збільшує загальний ПЕО у 90-100 разів. Однак подальше нагрівання до 300°C зумовлює зменшення об'ємного опору, внаслідок чого загальний ПЕО повертається до початкового рівня, характерного для кімнатної температури.

Пилова частинка може мати один або кілька електричних зарядів або залишатися нейтральною. Аерозольна система може містити частинки з позитивним, негативним або нейтральним зарядом. Співвідношення між цими частинками визначає сумарний заряд всієї системи.

Електризація пилових частинок може відбуватися як у процесі їх утворення, так і після нього під час перебування у зваженому стані. Це може бути наслідком таких явищ, як вибухи, диспергування, тертя між частинками або об повітря, а також адсорбції іонів чи електронів в умовах іонізації середовища. Саме останній механізм є основним джерелом електричного заряду для завислих частинок.

Електричний стан аерозольної системи залишається стабільним у часі, підтримуючи баланс зарядів.

Зважені частинки в складі деяких типів аерозолів характеризуються наявністю електричних зарядів певної полярності. Як правило, неметалеві частинки набувають позитивного заряду, тоді як металеві, навпаки, мають тенденцію заряджатися негативно. Солі NaCl, CaCl₂ заряджаються позитивно, а CaCO₃; Al₂O₃; Fe₂O₃; MgCO₃ – негативно.

Позитивно заряджені речовини включають апатит, крохмаль, мрамур, пісок, вугілля і сірку. До негативно заряджених належать кальцит, кварцовий пісок, борошно, оксид заліза, оксид цинку та цинк.

Пил в аерозолях може складатися з частинок різноманітних форм: від стандартних геометричних (куля, куб, циліндр, тетраедр тощо) до нерегулярних. Через це в газоочищенні поняття діаметра частинки в його звичному сенсі стає недоречним. На практиці для обчислення користуються еквівалентним діаметром частинки — діаметром сфери, об'єм якої дорівнює об'єму частинки за однакової маси.

У деяких випадках доцільно застосовувати поняття седиментаційного діаметра. Це діаметр сфери, щільність якої збігається із щільністю частинки і яка має ідентичну швидкість осадження за однакових умов.

Нерівномірність форми часток відображають коефіцієнти сферичності та несферичності, які об'єднуються під спільною назвою «фактор форми частинки». Коефіцієнт сферичності визначає

співвідношення площі поверхні сфери, об'ємно еквівалентної частинці, до площі поверхні самої частинки:

$$\Psi = S_{\text{сф}}/S_{\text{ч}} \quad (2.1)$$

Коефіцієнт несферичності визначається як величина, що є оберненою до коефіцієнта сферичності,

$$f = S_{\text{ч}}/S_{\text{сф}} \quad (2.2)$$

між ними існує співвідношення:

$$\Psi = 1/f \quad (2.3)$$

Під час гідродинамічних розрахунків спосіб вираження чинника форми не має істотного значення. Слід пам'ятати, що $\Psi < 1$, а $f > 1$, причому для кулі $\Psi = f = 1$.

Для оцінки фактору форми реальних матеріалів можна використовувати узагальнені показники, які представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Оцінка фактору форми матеріалів

Форма частинок	Ψ
Округлі без різких виступів	0,8 - 0,9
Округлі з різкими виступами	0,65 - 0,8
Кутові, шорсткі	0,4 - 0,65
Пластинчасті, пластівцеві, волокнисті	0,2 - 0,4

Частинки неправильної форми демонструють гірші аеродинамічні властивості, що ускладнює їх осадження у пиловловлювальних пристроях. Це, своєю чергою, збільшує ймовірність виникнення суттєвих похибок під час розрахунку систем, призначених для роботи з подібними частинками.

Однією з ключових характеристик тонкоподрібнених матеріалів є їх дисперсний склад, який визначає фізико-хімічні властивості цих речовин. У контексті технологій пиловловлення та очищення газів даний параметр має вирішальне значення, оскільки більшість питань, пов'язаних із проєктуванням і вибором відповідного обладнання для вловлювання пилу, базуються саме на його характеристиках.

Під дисперсним (також зерновим або гранулометричним) складом пилу мається на увазі характеристика дисперсної фази, яка відображає розподіл частинок за розмірами або швидкістю їхнього осідання. Цей показник визначає, яку частку за масою, об'ємом, площею поверхні чи кількістю утворюють частинки у певному діапазоні розмірів або швидкостей осідання.

Ступінь дисперсності виступає якісним параметром, що визначає рівень "тонкості" пилових частинок. Як умовні індикатори цієї характеристики застосовуються показники питомої поверхні, середнього діаметра частинок, медіанного діаметра та інші аналогічні величини. Залежно від ступеня дисперсності, пил класифікується на п'ять окремих груп, детальні характеристики яких представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Класифікація промислового пилу з урахуванням дисперсності

Група	Характеристика групи	Медіанний розмір частинок d_m , мкм
I	Переважає крупнодисперсний пил	$d_m > 40 - 140$
II	Крупнодисперсний пил	$d_m = 40 - 140$
III	Середньодисперсний пил	$d_m = 10 - 40$
IV	Дрібнодисперсний пил	$d_m = 1 - 10$
V	Переважає дрібнодисперсний пил	$d_m < 1,0$

Діапазон дисперсності пилу значно впливає на швидкість і ефективність його уловлювання газоочисним обладнанням (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 - Загальна характеристика ступеня уловлювання пилу різними типами апаратів

Апарат	Ступінь вловлювання пилу в залежності від фракції		
	50 мкм	5 мкм	1 мкм
Циклон	95%	27%	8%
Скрубер	99%	98%	58%
Скрубер Вентурі	99%	92%	90%
Тканинний фільтр	100%	99%	99%
Електрофільтр	99%	98%	86%

Таблиця 2.5 – Рекомендований тип газоочисних апаратів в залежності від дисперсного складу пилу

Розмір частинок, мкм	Апарат
40 - 1000	Пилоосаджувальні камери
20 – 1000	Циклони діаметром 1 – 2 м
5 - 1000	Циклони діаметром 1 м
20 – 100	Скрубери
0,9 – 100	Тканинні фільтри
0,05 – 100	Волокнисті фільтри
0,01 - 10	Електрофільтри

Адгезійні властивості частинок визначають їхню здатність налипати на поверхні обладнання, що використовується в технологічних процесах. Підвищена адгезія частинок може спричинити часткове або повне блокування функціонування апаратів. Зі зменшенням розмірів частинок пилу зростає їхня схильність до утримання на поверхнях обладнання. Зокрема, пил, у складі якого 60–70% частинок мають діаметр менше ніж 10 мкм, характеризується сильною тенденцією до злипання, тоді як пил із частинками, що перевищують діаметр 10 мкм, має добрі сипучі властивості. Залежно від злипності пил класифікується на чотири основні групи (таблиця 2.6).

Злипання тісно пов'язане з сипучістю пилу, яка визначається як здатність частинок пилу переміщатися одна відносно одної під впливом зовнішньої сили. На сипучість впливають розмір і форма частинок, вологість, а також ступінь ущільнення шару пилу.

Таблиця 2.6 – Характеристика пилу за злипністю

Характеристика пилу; міцність на розрив	Вид пилу
Незлипна; < 60 Па	Суша шлакова, кварцова, суха глина
Слабозлипна; 60-30 Па	Коксова, магнезитова суха, апатитова суха, доменна, колошниковая летюча зола, що містить багато незгорілих продуктів, сланцева зола
Середньозлипна; 300-600 Па	Торф'яна, волога магнезитова, металева, що містить колчедан, оксиди свинцю, цинку та олова, сухий цемент, летюча зола без недопалу, торф'яна зола, сажка, сухе молоко, борошно, тирса
Сильнозлипна; > 600 Па	Цементна, виділена із вологого повітря, гіпсова та алебастрова, містить нітрофоску, подвійний суперфосфат, клінкер, натрію солі, волокниста (азбест, бавовна, шерсть)

Сипучість оцінюється за різними показниками, зокрема за динамічним кутом природного укусу. Цей кут утворюється між основою й утворюючою поверхнею конуса, сформованого сипучим матеріалом. Значення кута природного укусу враховуються під час проєктування та вибору бункерів для апаратів газоочищення.

Адгезійні сили сприяють коагуляції пилових частинок, тобто їх укрупненню. Однак частинки розміром понад 5-10 мкм практично не коагулюються в потоках газу.

Дані досліджень щодо злипання частинок важливі для вибору типу напрямних елементів у циклонах і визначення необхідності обладнання бункерів вібраторами.

2.5 Технології пиловловлення

2.5.1 Основи вибору проектних рішень

До ключових вимог до систем пиловловлення відносяться висока ефективність роботи та надійність в експлуатації. Ефективність більшості пиловловлювачів визначається дисперсним складом частинок. Водночас на функціонування електрофільтрів значний вплив

мають питомий електричний опір шарів пилу, а також температура і вологість газів. Надійність в експлуатації багатьох пристроїв залежить від властивостей пилу, зокрема його схильності до злипання, абразивності, початкової концентрації пилу в газовому потоці та ступеня агресивності газового середовища.

На рисунку 2.2 показано залежність мінімального розміру частинок, які можуть бути захоплені пиловловлювачем, від рівня витрат енергії. Така інформація значною мірою сприяє прийняттю оптимального рішення щодо вибору обладнання для очищення газопилового потоку від зважених частинок.

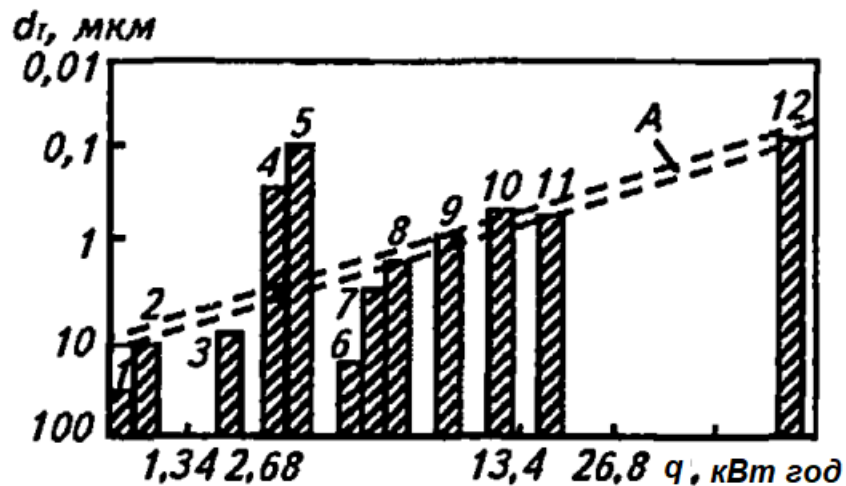


Рисунок 2.2 – Залежність мінімального розміру частинок d_{\min} , що уловлюються в пиловловлювачах, від енерговитрат q

Принципова технологічна схема очищення промислових викидів включає кілька етапів, на яких здійснюється видалення різних типів домішок:

- видалення твердих або рідких (гетерогенних) домішок,
- уловлювання газоподібних (гомогенних) домішок.

Технологія пиловловлення, відповідно до поставлених цілей та завдань, складається із п'яти основних стадій:

- відведення викидів від місця їх утворення,

- підготовка викидів до процедур очищення,
- осадження зважених частинок (безпосередньо процес пиловловлення),
- вивантаження та транспортування зібраного пилу і шламів,
- утилізація або безпечне поховання зібраних пилу і шламів.

Перша стадія, що стосується відведення викидів, визначає обсяг домішок, які надходять до атмосфери, і відповідно впливає на фінансові витрати, пов'язані з їх очищенням. У разі ефективної організації цього процесу, тобто локалізації викидів, зазвичай вдається знизити витрати на їх подальше очищення. Натомість, у випадках неефективного відведення викиди, змішані з повітрям, подаються на очищення у значно більших обсягах. Це вимагає використання апаратів більшої продуктивності та призводить до підвищення витрат.

Друга стадія може включати кілька важливих заходів, а саме:

- попереднє охолодження викидів;
- об'єднання потоків викидів, що утворюються різним обладнанням;
- проведення первинного очищення у простих пиловловлюючих пристроях для оптимізації умов подальшого тонкого очищення.

Третя стадія передбачає визначення:

- доцільного механізму осадження частинок;
- типу газоочищувального обладнання та його експлуатаційних параметрів для досягнення необхідного рівня очищення.

Ефективність четвертої та п'ятої стадій значною мірою визначає ступінь досягнутого очищення та мінімізацію ризиків вторинного забруднення навколишнього середовища. Це стосується як безпечного видалення сухого пилу зі встановленого обладнання, так і розробки належних рішень для транспортування та повторного використання уловленого пилу.

Окрему проблему становить застосування мокрих методів очищення промислових викидів. За відсутності належної системи транспортування та очищення утворених стічних вод виникає ризик вторинного забруднення природного середовища.

2.5.2 Очищення газових викидів сухими пиловловлювачами

Технологічні процеси очищення газових викидів за допомогою сухих пиловловлювачів базуються на фізичних і хімічних характеристиках забруднювачів, а також на використанні основних фізичних законів, що забезпечують ефективне пиловловлювання. Удосконалення існуючих методів та створення нових маловідходних і безвідходних технологій для вловлювання і утилізації газових відходів ґрунтується на застосуванні одного чи кількох механізмів осадження частинок, зважених у газах. До основних механізмів осадження належать використання сил гравітації, інерції, дифузії, відцентрових сил, а також сил зчеплення.

Осадження частинок під дією сили гравітації, або седиментація, відбувається через вертикальне осідання частинок під власною вагою під час їх проходження через газоочисний апарат.

У випадку дії відцентрових сил осадження відбувається при криволінійному русі газового потоку: частинки пилу під дією цих сил відкидаються на поверхні апарата.

Інерційне осадження виникає тоді, коли частинка через свою масу або малу швидкість більше не здатна разом із потоком газу огинати перешкоду. У результаті частинки пилу за інерцією стикаються з перешкодою та осідають на її поверхні.

Дифузійне осадження спостерігається завдяки безперервній взаємодії дрібних частинок пилу із молекулами газів, що перебувають у стані броунівського руху. Це призводить до осадження частинок на стінках пиловловлювача або інших обтічних тіл.

Осадження частинок через зчеплення відбувається, коли відстань між частинкою, що рухається у газовому потоці, та обтічним тілом не перевищує радіус цієї частинки.

Окрім основних механізмів осадження завислих частинок, у технологічних процесах очищення газових викидів враховують такі явища, як термофорез, дифузійфорез, фотофорез, а також вплив електричних і магнітних полів. У більшості випадків у технологічному обладнанні для пиловловлювання кілька фізичних процесів одночасно сприяють очищенню газового потоку. Однак лише один із них переважає при осажденні частинок певного типу.

Під час проектування технологічних процесів і створення газоочисного обладнання першочергово слід визначити тип речовини, яку необхідно видалити з газового потоку, її об'єм і ключові параметри. Основними параметрами є швидкість газового потоку, температура та склад газу, природа компонентів, що видаляються, а також необхідний ступінь очищення.

2.5.3 Апарати очистки газу

Циклони є одним із найпоширеніших видів обладнання для очищення газів, яке використовується у промислових виробництвах. Популярність таких пристроїв зумовлена їхньою простою конструкцією, високою надійністю під час експлуатації, а також відносно невеликими витратами на виготовлення та обслуговування. Циклони здатні ефективно працювати за умов високих температур і тисків, що розширює можливості їх використання. Завдяки відсутності рухомих частин, вони забезпечують додаткову надійність і довговічність.

Принцип дії циклона базується на створенні обертального руху запиленого газового потоку, у якому під дією відцентрових сил частинки пилу переміщуються до стінок пристрою. У результаті виникає осідання пилу в полі відцентрових сил, що працює в сотні разів ефективніше, ніж

у звичайному гравітаційному полі, зумовленому земним прискоренням сили тяжіння.

Залежно від властивостей пилу, його дисперсного складу та вимог до чистоти газу, циклони використовуються як апарати першого етапу очищення, часто у поєднанні з іншими пиловловлюючими пристроями. Вони ефективно утримують із газового потоку частинки пилу діаметром від 5 мкм і більше. Початкова концентрація пилу в пилогазовій суміші, що підлягає очищенню в циклонах, визначається характеристиками забрудненого газу, а також конструктивними особливостями та розмірами самого циклона. В середньому вона не повинна перевищувати $400 \cdot 10^{-6}$ кг/м³.

Переваги циклонів включають:

- відсутність рухомих частин у конструкції;
- стабільну роботу при високих температурах газів, до 500°С;
- здатність вловлювати абразивні матеріали за умови використання спеціального захисного покриття внутрішньої поверхні;
- простоту виготовлення і монтажу;
- незалежність функціонування від рівня тиску газу;
- сталість фракційної ефективності очищення незалежно від збільшення запиленості газів;
- високу продуктивність у поєднанні з відносно низькою вартістю.

До недоліків слід віднести значний гідравлічний опір, що складає 1250–1500 Па для вискоефективних циклонів, через який спостерігається недостатнє вловлення частинок із розміром менше 5 мкм.

Класифікацію циклонів за конструктивними характеристиками подано на рисунку 2.3.

Ефективність роботи циклону визначається не лише швидкістю обертання потоку та радіусом циклону, але й такими чинниками, як в'язкість газового середовища, щільність частинок пилу, а також співвідношення газового навантаження до поверхні циклону. Зі

збільшенням площі осадження (що охоплює циліндричну та конічну частини циклону) покращується ступінь очищення газів, за умови, що інші параметри вихрового потоку залишаються незмінними.

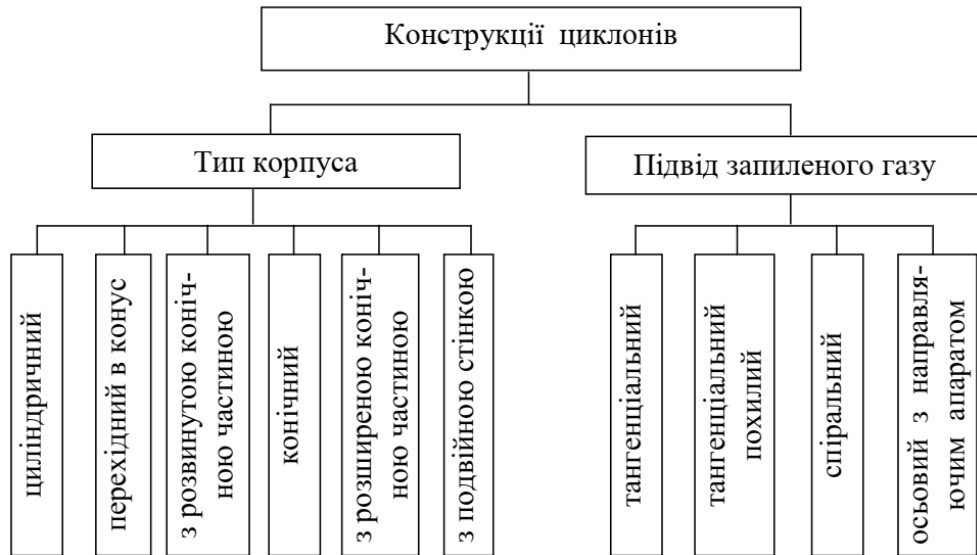


Рисунок 2.3 - Класифікація циклонів⁷

Підбір циклону для промислового очищення газів проводиться з урахуванням специфіки виробничих умов і необхідного рівня очищення. В промисловості застосовуються такі типи циклонів: ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У (укорочений), ЦН-24, які є розробками НДІОгазу. Числовий індекс відповідає куту розгортки між тангенціально встановленим вхідним патрубком і циліндричною частиною циклону. Для запобігання налипанню пилового шару на внутрішніх стінках корпусу, а також у ситуаціях із високою абразивністю пилу, застосовуються спіральсько-конічні циклони СК-ЦН-34 або спіральсько-довгоконічні циклони СДК-ЦН-33. У цих конструкціях числа 34 і 33 відповідають відношенню діаметра вихлопної труби до діаметра циліндричної частини корпусу. Також широко використовуються циклони таких конструкцій: ВЦНДІОП, СІОП, ЦКТІ та УЦ-38 (розробка Гіпродеревпрома).

⁷ <https://studfile.net/preview/9235467/page:9/>

Циклони типу ЦН рекомендуються для застосування в умовах, коли утворюється налипання пилу на внутрішній поверхні корпусу або за підвищеної абразивності частинок. Циклон моделі ЦН-24 використовується для первинного очищення газів від частинок діаметром понад 20 мкм. Для тоншої очистки газів від пилу розміром 5-10 мкм доцільним є використання циклонів типу ЦН-11.

Для видалення вугільного пилу, золи та злиплих частинок ефективно застосовуються спіральні-конічні циклони СДК-ЦН-34 та спіральні-довгоконічні моделі СДК-ЦН-33. Ці пристрої відрізняються подовженою конічною частиною і малим діаметром вхідного патрубка. Числа "33" і "34" вказують на співвідношення діаметрів вихлопної труби до циліндричної частини корпусу (0,33 та 0,34 відповідно). У порівнянні з циклонами типу ЦН, спіральні-конічні циклони при однаковій продуктивності мають дещо більші габарити й посиленій гідравлічний опір, однак забезпечують підвищену ефективність очищення.

Фракційна ефективність очищення промислових газів від пилу за допомогою циклонів ЦН представлена в таблиці 2.7.

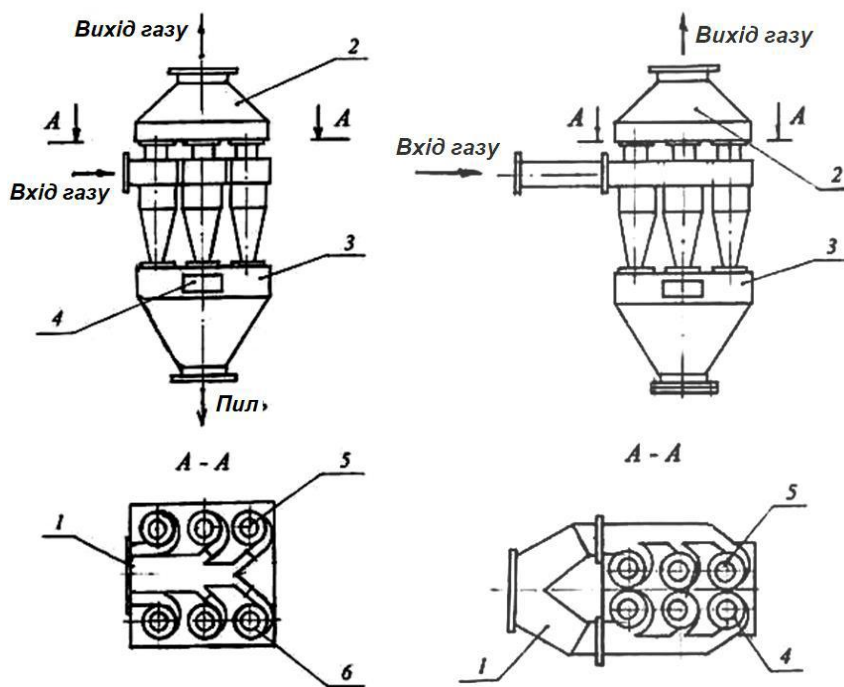
Таблиця 2.7 - Фракційна ефективність очищення промислових газів від пилу циклонами ЦН

Тип циклона	Ступінь очищення, % при діаметрі частинок, мкм					
	2	5	10	20	50	100
СК-ЦН-34	70	92	98	99,8	99,9	99,9
СДК-ЦН-33	65	90	96	99,4	99,9	99,9
ЦН-11	-	75	92	98,8	99,8	99,9
ЦН-15	-	60	87	96,0	99,7	99,9
ЦН-15У	-	58	85	95,0	99,5	99,9
ЦН-24	-	52	80	92,0	99,4	99,9

Групові циклони використовуються для очищення великих обсягів газу, забезпечуючи підвищений рівень очищення. Порівняно з установкою одиночного циклону, висота монтажу групового циклону для обробки того ж обсягу газу значно зменшується. У такій установці

циклонні елементи сполучаються паралельно та оснащуються гвинтовим або спіральним входом газу, а також прямою конструкцією. Запилений газ надходить до спеціального колектора, який рівномірно розподіляє його між усіма циклонами. На виході очищений газ збирається в загальній камері, що має прямокутну або круглу форму, і з'єднується з головним газоходом.

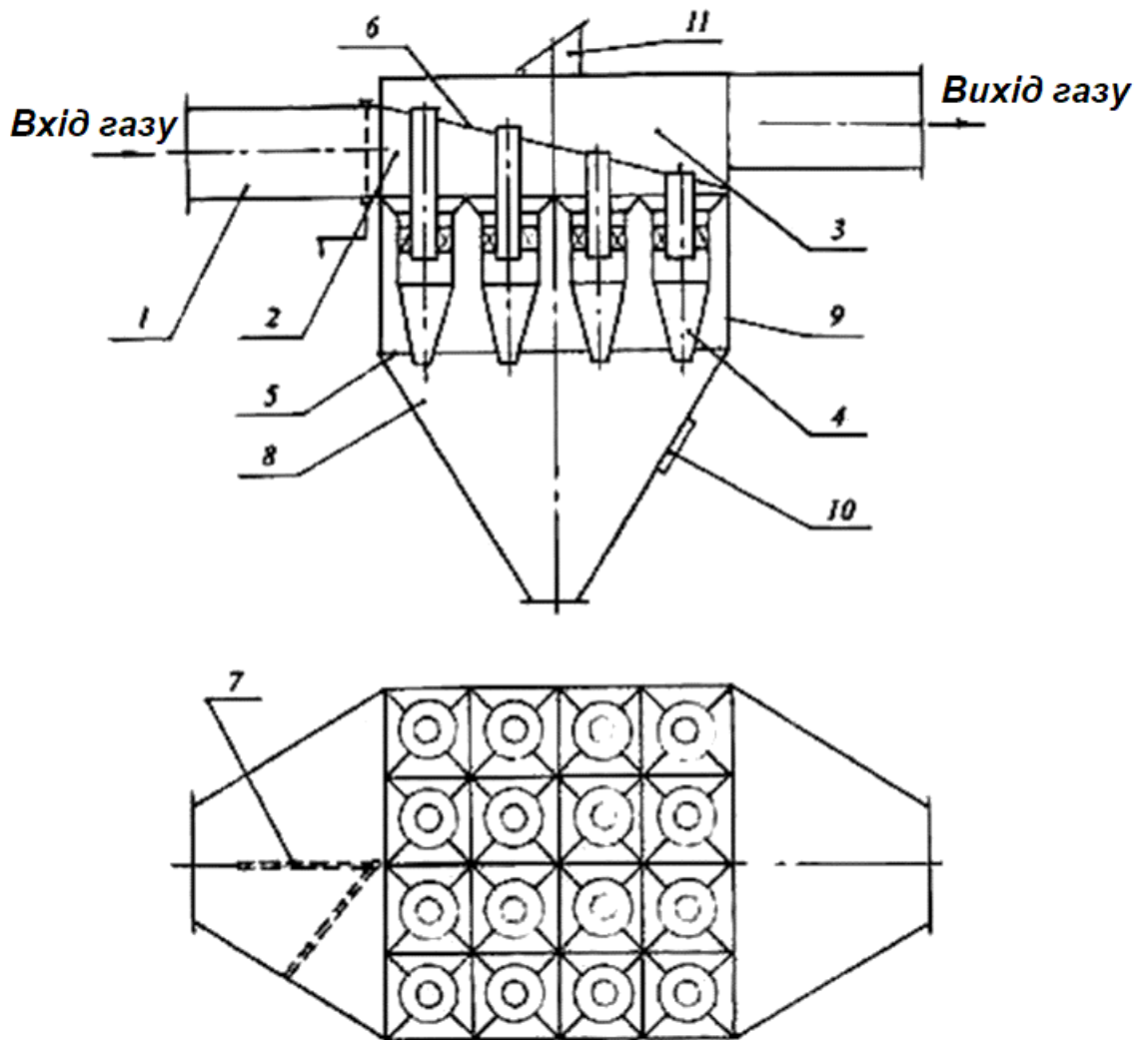
Для збору уловленої пилу груповий циклон оснащений спільним бункером. У деяких випадках, коли це диктують особливості компонування, замість бункера використовують шнекову систему для безперервного вивантаження пилу або систему пневмотранспорту. У разі застосування пневмотранспортної системи на циклонах встановлюють шлюзові затвори, які забезпечують передачу уловленої пилу до трубопроводу. Найпоширеніші варіанти компоновок групових циклонів моделі СЦН-40 наведені на рисунку 2.4.



1 – колектор брудного газу; 2 – камера чистого газу; 3 – бункер; 4 – люк;
5 – циклон лівий; 6 – циклон правий.

Рисунок 2.4 - Груповий циклон з шести елементів, прямокутна компоновка - колектор брудного газу розташований проміж циклонами з загальним бункером

Батарейні циклони використовуються для очищення димових газів. Вони являють собою конструкцію, що складається з кількох десятків або навіть сотень циклонних елементів, які паралельно розміщені в одному корпусі. Ці елементи мають спільний вхід та вихід для потоку газу, що піддається очищенню, а також загальний бункер для збору осаду. Завихрення газу в циклонних елементах досягається за допомогою лопаткових завихрювачів типу "розетка" або через равликовий вхід газу. На рисунку 2.5 зображена схема батарейного циклону БЦ-2, який оснащений циклонними елементами з розетковими завихрювачами.



1 – вхідний патрубок; 2 – камера брудного газу; 3 – камера очищеного газу; 4 – циклонний елемент; 5 – нижня решітка; 6 – верхня решітка; 7 – шибер; 8 – бункер; 9 – корпус БЦ-2; 10 – люк; 11 – клапан запобіжний

Рисунок 2.5 - Батарейний циклон типу БЦ-2

Діаметр циклонного елемента становить 254 мм, а умовна швидкість газу в корпусі циклону складає 4-5 м/сек.

Принцип дії батарейного циклону базується на наступному: запилений газ потрапляє через патрубок (1) у камеру брудного газу (2), де рівномірно розподіляється між циклонними елементами (4). У цих елементах відбувається очищення газу від пилу. Зібраний пил передається у бункер (8), після чого через затвор вивантажується назовні. Очищений газ проходить через камеру чистого газу (3) і за допомогою димососа виводиться в атмосферу через димову трубу.

У порівнянні з груповими циклонами, батарейні циклони демонструють нижчу ефективність уловлювання, навіть за умов меншого діаметру їхніх елементів. Це пояснюється нерівномірним розподілом запиленого потоку між окремими елементами. Як наслідок, відбуваються значні перетікання газу всередині бункера, що негативно впливає на загальний рівень очищення.

Фільтрування є однією з ключових характеристик будь-якого пиловловлювача. Вона визначається здатністю уловлювати частинки пилу із повітряного потоку, що проходить крізь фільтрувальний матеріал. Для обладнання такого типу виробники пропонують широкий вибір фільтрувальних матеріалів із різними властивостями. Незважаючи на різноманітність матеріалів, ефективність фільтрування залежить переважно від їхньої здатності вловлювати частинки з повітряного потоку.

Пропускню здатність фільтрувальної тканини, яка характеризує її проникність, зазвичай оцінюють об'ємом повітря, що проходить через квадратний фут матеріалу при перепаді тиску 125 Па.

Іншим важливим показником є ефективність уловлювання частинок пилу. У промисловості для її оцінки застосовують шкалу мінімальної ефективності (MERV – Minimum Efficiency Reporting Value). Як засвідчують дані таблиці MERV, зі збільшенням ефективності фільтра зростає здатність затримувати ширший діапазон частинок пилу (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Оцінки мінімальної ефективності (MERV) згідно зі стандартом ASHRAE Standard 52

Група	Оцінка MERV	Середня ефективність уловлювання частинок (PSE) розміром		
		0,3-1 мкм	1-3 мкм	3-10 мкм
1	1			<20%
	2			<20%
	3			<20%
	4			<20%
2	5			20-34,9%
	6			35-49,9%
	7			50-69,9%
	8			70-84,9%
3	9		<50%	≥85%
	10		50-64,9%	≥85%
	11		65-79,9%	≥85%
	12		80-89,9%	≥90%
4	13	<75%	≥90%	≥90%
	14	75-84,9%	≥90%	≥90%
	15	85-94,9%	≥90%	≥90%
	16	≥95%	≥95%	≥95%

Якщо здатність фільтра утримувати пилові частинки завдяки механізмам торкання, інерційного осадження, дифузії та дії електричних сил є вищою, то й його рейтинг MERV буде відповідно вищим. Розглянемо детальніше механізми уловлювання аерозолів:

- торкання або зачеплення відбувається, коли дрібні частинки, рухаючись уздовж потоку повітря, проходять на відстані свого радіуса біля поверхні фільтрувального волокна та прилипають до нього;

- інерційне осадження спостерігається тоді, коли більші частинки, через свою масу, не можуть слідувати вигинам повітряного потоку поблизу волокон і стикаються з ними. Цей механізм стає ефективнішим зі збільшенням швидкості повітряного потоку і зменшенням відстані між волокнами;

- уловлювання за рахунок дифузії діє на найдрібніші частинки (переважно менші за 0,1 мкм), які через хаотичні удари молекул повітря змінюють траєкторію руху та зрештою осідають через інерцію або торкаються волокон;

- електростатичне осадження відбувається, якщо фільтрувальний матеріал утримує електростатичний заряд. Пилові частинки, які також мають заряд, притягуються до волокон і прилипають до них при проходженні через фільтр.

Фільтрувальні матеріали виготовляють із натуральних або штучних волокон і поділяють на ткани та неткани. Для нетканих матеріалів нерідко застосовують показник маси одиниці площі разом із класифікацією за товщиною. Ефективність уловлювання аерозолів нетканими матеріалами зазвичай перевищує показники тканих матеріалів тієї ж товщини, оскільки вони мають менший розмір пор.

Заміщення пилу у фільтрі під час роботи підвищує його ефективність. На початковому етапі частинки пилу осідають безпосередньо на поверхні фільтра. Згодом формується шар цих частинок, який стає основним уловлювальним середовищем. У процесі роботи цей шар поступово збільшується, що ускладнює проходження повітря через фільтр і спричиняє зростання гідравлічного опору. Коли перепад тиску досягає критичного рівня, шар пилу необхідно видалити механічними засобами, такими як струшування, зворотне продування чи пульсуюча очистка стисненим повітрям.

Фільтрування частинок тканиною відбувається за двома основними механізмами. Перший включає уловлювання частинок як волокнами тканини, так і раніше затриманими на них частинками. Це забезпечує ефективну роботу всієї товщини фільтра незалежно від утворення поверхневого шару. Другий передбачає уловлювання частинок саме шаром раніше затриманих частинок на поверхні матеріалу. У цьому випадку максимальна ефективність досягається після утворення достатнього шару накопиченого пилу.

У повстяних фільтрувальних матеріалах задіяний перший механізм уловлювання частинок, тоді як фільтрувальні тканини з поліестеру, поліпропілену, арамідних волокон та інших подібних

матеріалів використовують другий механізм. Це означає, що вони повинні створювати і підтримувати шар уловленого пилу протягом усього періоду експлуатації пиловловлювача. У цьому випадку фільтрувальний рукав виконує функцію опори, на якій формується і підтримується шар пилу, що слугує основним засобом уловлювання частинок. Пил проникає всередину фільтрувальної тканини, утворюючи на її волокнах додатковий шар уловлених частинок. Таким чином, накопичений пил формує пористе середовище, розмір пор якого суттєво менший за пори самої тканини, що значно підвищує ефективність фільтрації завдяки участі вже вловлених частинок.

При проектуванні та експлуатації рукавних фільтрів із тканинами такого типу необхідно враховувати: співвідношення витрати повітря до площі фільтра, інтервали між циклами очищення рукавів і тиск стисненого повітря, потрібний для регенерації. За оптимального режиму роботи перепад тиску на фільтрі становить 750-1500 Па, а витрати стисненого повітря й частота очищення мінімізуються. Проте це не означає, що перепад тиску понад 1500 Па автоматично свідчить про неоптимальність системи.

У випадку використання фільтрувальних матеріалів, де уловлювання частинок здійснюється безпосередньо на поверхні матеріалу, оптимальна робота системи не потребує формування шару пилу на волокнах чи поверхні фільтрувального матеріалу. Завдяки надмалим порам такого матеріалу, через них можуть проникати лише найдрібніші субмікронні частинки, що забезпечує високу ефективність очищення повітря.

Для рукавних фільтрів із регенерацією методом обтрушування зазвичай застосовуються фільтрувальні матеріали, як-от бавовняно-паперова тканина, поліестеровий сатин або легкий повстяний матеріал. Сучасні пиловловлювачі з імпульсним продуванням стисненим повітрям або зворотною продувкою використовують фільтрувальні тканини з

щільністю 300–600 г/м². У таких системах тканинні матеріали майже не застосовуються, адже процеси очищення створюють набагато більше навантаження на тканину порівняно з обтрушуванням. Наприклад, під час імпульсного продування великі пори тканини можуть ненадовго відкриватися, що спричиняє тимчасове виділення значної кількості невловленого пилу після процедури.

У картриджних фільтрах зазвичай застосовуються матеріали зі змішаних целюлозних і синтетичних волокон або скручених поліестерових волокон (spun-bonded).

При виборі фільтрувального матеріалу для конкретних умов експлуатації важливо враховувати такі параметри: температуру та хімічний склад очищуваного повітря, концентрацію й абразивність пилу, розмір частинок, наявність статичного заряду, здатність до регенерації та необхідний рівень очищення повітря.

Класифікація тканих фільтрів за конструктивними особливостями представлена на рисунках 2.6 та 2.7.



Рисунок 2.6 - Класифікація тканих фільтрів за видом регенерації

За конструктивно-технологічною ознакою улаштування регенерації рукавні фільтри поділяють на такі типи:

тип (1-3) - регенерація механічним струшуванням;

тип (2-3) - регенерація зворотним продуванням очищеним газом або атмосферним повітрям;

тип (3-3) - регенерація механічним струшуванням в сполученні із зворотним продуванням;

тип (4-3) - регенерація стислим повітрям.

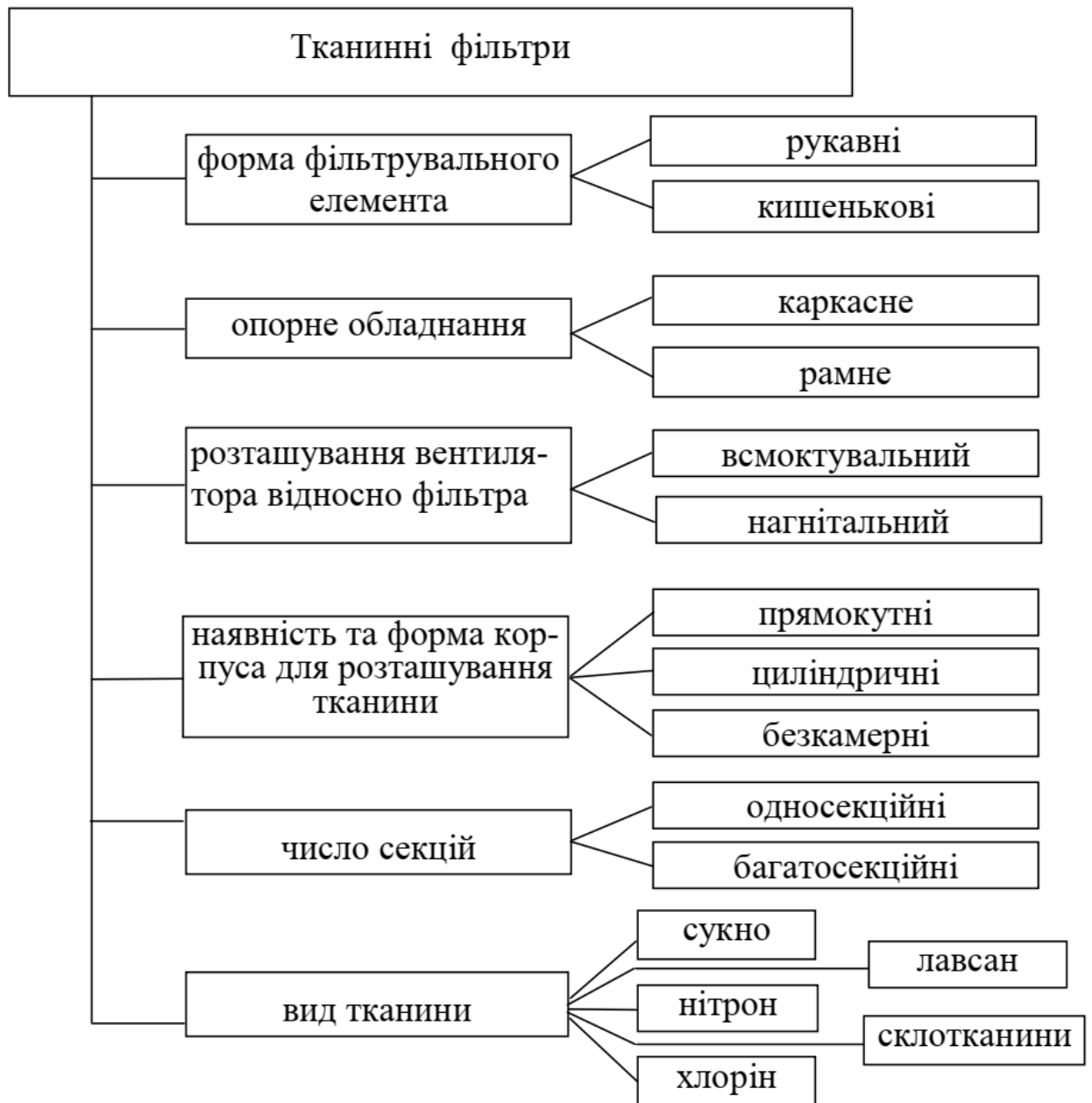


Рисунок 2.7 - Класифікація тканинних фільтрів

В промисловості використовуються фільтри типу ФР, ФРО, ФРКІ, ФРКДІ та інші.

Літери позначають:

Ф – фільтр;

Р – рукавний;

К – каркасний;

О – зворотна продувка;

І – імпульсна продувка;

ДІ – двобічне імпульсне продування.

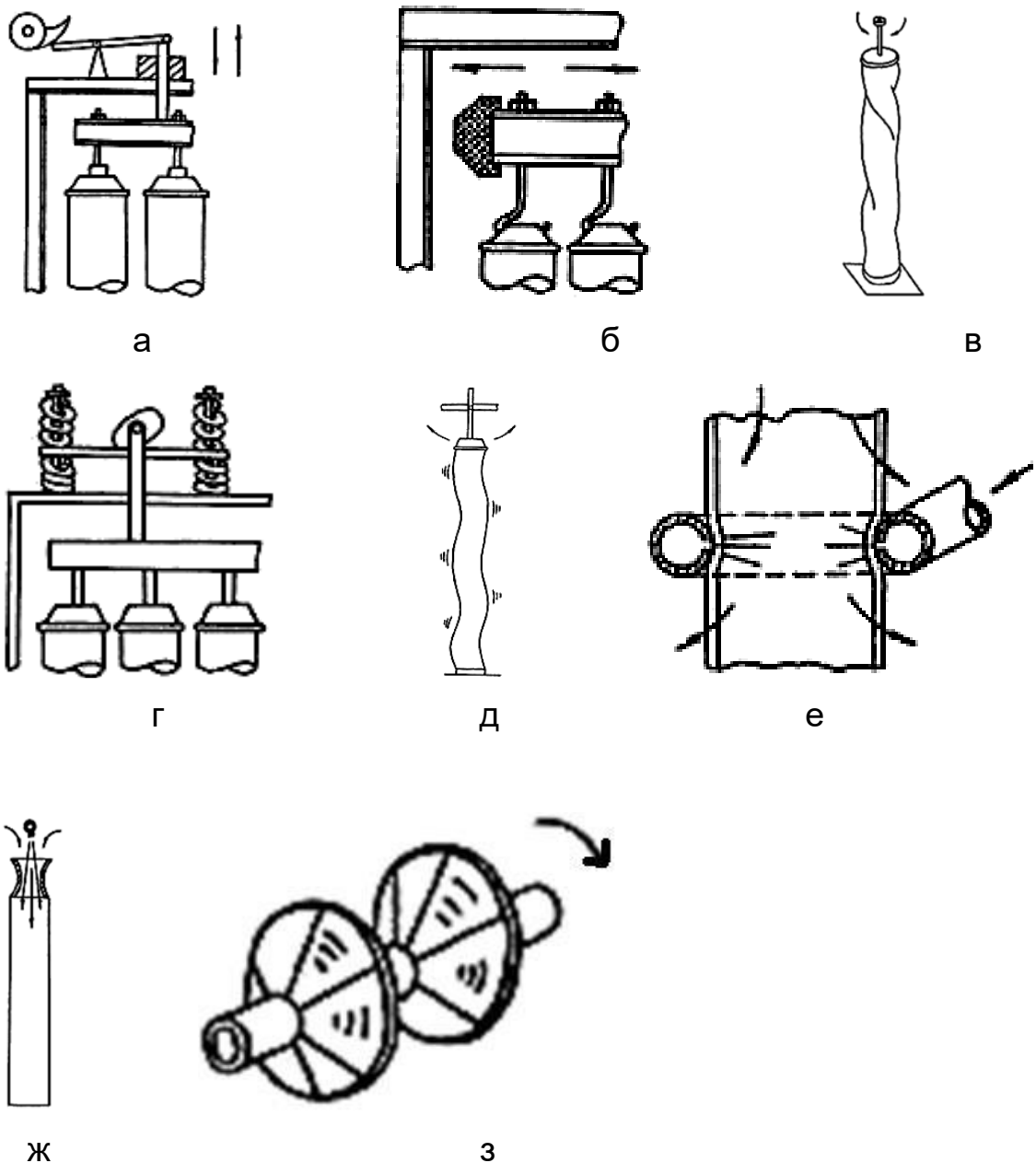
Системи регенерації тканинних фільтрів: принципи та методи.

Фільтри, використовувані для очищення газів чи рідин, утворюють на поверхні фільтрації шар уловленого пилу. Залежно від конструкції фільтра, цей шар може розташовуватися як на зовнішній, так і на внутрішній поверхні фільтрувального елемента. Накопичений шар виконує двояку функцію: з одного боку, він сприяє підвищенню ефективності очищення, виконуючи роль додаткового фільтрувального бар'єра; з іншого боку, він негативно впливає на продуктивність, знижуючи пропускну здатність системи через збільшення товщини фільтрувального шару пилу. У зв'язку з цим фільтри потребують періодичного очищення та відновлення функціональних властивостей фільтрувальної тканини.

На сьогодні у промисловості експлуатується значне різноманіття конструкцій та систем регенерації фільтрувального матеріалу. Кожен із застосовуваних механізмів має як переваги, так і недоліки. Одні системи є енергоефективними, інші вимагають високих витрат енергії; деякі мають високу експлуатаційну надійність, тоді як інші характеризуються частими поломками. Однак більшість із них базується на використанні одного з двох основних підходів або їх комбінації: механічного струшування чи зворотного продування.

Метод механічного струшування передбачає видалення пилу з поверхні фільтрувальної тканини шляхом інтенсивного струсу фільтру (рисунок 2.8 - а, б). Механічне струшування може бути орієнтоване як у

вертикальному, так і в горизонтальному напрямі. Цей метод є одним із найстаріших способів регенерації фільтрувального матеріалу. Фільтри з такими системами регенерації широко використовуються у вітчизняній та зарубіжній промисловості, зокрема в кольоровій металургії, харчовій промисловості та галузях заготівлі.



а - механічне струшування у вертикальному напрямку; б – механічне струшування в горизонтальному напрямку; в – механічне перекручування рукавів; г – механічна вібрація; д – механічне похитування рукавів; е – продування струменем повітря; ж – імпульсна продування повітрям; з – струшування з використанням відцентрових сил

Рисунок 2.8 – Способи регенерації фільтрувальних рукавів

Альтернативним методом є зворотне продування, за якого пил видаляється як із поверхні, так і з пор фільтрувальної тканини шляхом подачі потоку газу у зворотному напрямку до процесу фільтрації. Обидва методи можуть використовуватися окремо або комбінуватися залежно від вимог до очищення та типу фільтрувальної системи.

Таким чином, вибір системи регенерації пов'язаний з багатьма факторами, включаючи конструктивні особливості фільтрів, тип уловлюваних забруднень, а також економічну доцільність використання того чи іншого методу.

Механічні фільтри зі струшувальним механізмом характеризуються високим рівнем стабільності у видаленні захопленого пилу. Водночас їх експлуатація має кілька суттєвих недоліків, серед яких варто виділити:

- складність конструкції струшувального механізму, що потребує постійної уваги з боку обслуговуючого персоналу;
- підвищений знос та утворення тріщин на рукавах, які найчастіше виникають в одних і тих самих місцях;
- високу чутливість системи до усадки або подовження фільтрувальних рукавів;
- необхідність тимчасового відключення фільтра або окремих його секцій під час виконання процедур регенерації.

З конструктивної точки зору, фільтр зі струшувальним механізмом може бути виконаний у вигляді горизонтального переміщення верхньої рами, до якої підвішені рукави (рисунок 2.8 – б). Хоча така конструкція є дещо простішою порівняно з варіантом вертикального переміщення, вона має суттєвий недолік — розхитування елементів конструкції та обмежений термін служби гумових упорів, що впливає на її надійність та довговічність.

У деяких випадках у рукавних фільтрах використовується метод регенерації шляхом перекручування рукавів навколо осі (рисунок 2.8 - в).

Під час перекручування пиловий шар або обрушується з поверхні рукава, або тріскається і видаляється завдяки зворотному продуванню повітрям. Цей метод зазвичай не застосовується окремо, а використовується як попередній етап для підготовки осаду пилу до більш ефективного очищення фільтрувального матеріалу. Основними недоліками методу є складність механізму, який забезпечує перекручування рукавів, та знос рукавів у місцях їх кріплення до деталей, що обертаються.

До механічних способів очищення пилу належить вібраційне обтрушування, яке здебільшого використовується у фільтрах з металевим каркасом, на якому натягнутий фільтрувальний матеріал. Схема роботи рукавного фільтра, що оснащений такою системою регенерації, показана на рисунку 2.8 - г. Усередині фільтрувальної камери розташовані рукавні фільтрувальні елементи, закріплені на каркасах, прикріплених до рухомої плити. Ця плита з'єднана через тягу з вібраційним механізмом. Вібраційна система обтрушування може застосовуватися у фільтрах із різними конфігураціями фільтрувального матеріалу всередині робочої камери. Однак важливою умовою її використання є наявність каркаса, який передає коливання від вібратора на фільтрувальний матеріал.

Одним із ефективних методів регенерації фільтрувального матеріалу є зворотне продування очищеним газом або напірним повітрям (рисунок 2.8 – е – з). Зворотне продування часто комбінують з іншими способами, такими як механічне струшування, перекручування, вібрація, похитування рукавів та інші. Ці фільтри вирізняються високою ефективністю, зручністю в експлуатації та легкістю в обслуговуванні.

Фільтри зі струминним продуванням та регенеруючим пристроєм, відомі як Jet-Air, функціонують шляхом обдування осілого у процесі фільтрації пилу струменем повітря, що видувається через щілину в кільці (рис. 2.8 - е). Це кільце постійно переміщується вздовж рукава, забезпечуючи його очищення по всій довжині. Кільця закріплені на

спільній рамі. Такі фільтри характеризуються порівняно низьким гідравлічним опором, що дозволяє їм працювати на підвищених швидкостях фільтрації. Однак ця перевага водночас є і недоліком, оскільки під час очищення усувається практично весь шар пилу, який складає основу фільтруючого матеріалу.

Одним із найбільш ефективних методів регенерації фільтрувального матеріалу є імпульсне продування (рисунок 2.8 - ж). Фільтри з таким методом очищення вирізняються відсутністю механізмів для струшування, дроселів і вентиляторів для обдування.

Фільтрувальні рукави натягують на каркаси, які закріплюються на горизонтальній перегородці. У верхній частині кожного каркасу встановлено ежекторний патрубок. У чистій газовій камері розташовані повітророзподільні труби, оснащені соплами, які співвісно вирівняні з дифузорами. Ці труби через пневматичні клапани під'єднані до ресивера зі стисненим повітрям.

Запилений газ потрапляє в нижню частину фільтра, де розподіляється по рукавах і проходить крізь фільтрувальний матеріал, очищаючись від частинок пилу. Очищений газ із внутрішньої порожнини рукава через ежекторні патрубки транспортується до камери чистого газу, звідки випускається в атмосферу.

В процесі роботи фільтрувальний матеріал поступово накопичує пил, що призводить до зростання гідравлічного опору фільтра. Коли рівень опору досягає заздалегідь встановленого значення, пристрій управління подає сигнал для активації пневматичних клапанів. Струм стисненого повітря вибивається із сопла, захоплюючи чистий газ із камери і спрямовуючи його всередину рукава. Під впливом надлишкового тиску очищується фільтрувальний матеріал.

Імпульсна подача стисненого повітря викликає вібрацію фільтрувального матеріалу і його удари об каркас, що сприяє деформації пилового шару. Зворотний потік продувального повітря відділяє

пил від матеріалу, направляючи його в бункерну частину фільтра. Залежно від конструкції фільтра, процес регенерації може здійснюватись як безперервно під час роботи, так і при відключенні окремої секції від газового потоку (рисунок 2.9).

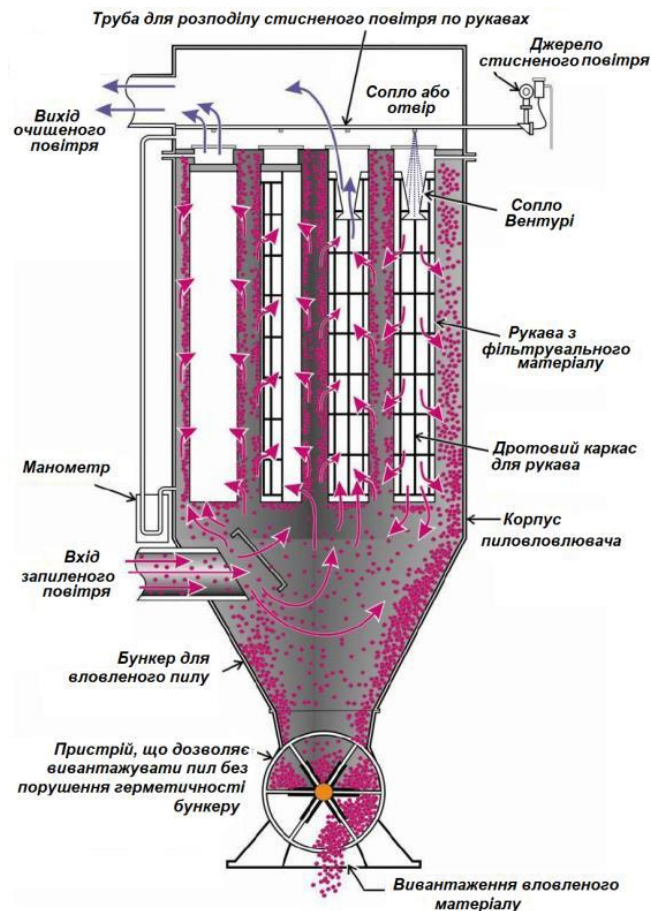


Рисунок 2.9 - Рукавний каркасний фільтр з реверсивним очищенням⁸

Перевагами фільтрів із імпульсною продувкою є їхня економічність в експлуатації, компактність, простота конструкції та висока надійність.

До недоліків таких фільтрів можна віднести підвищені вимоги до монтажу, зокрема потребу у точному центруванні регенеруючих сопел із

⁸

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%9E%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%8B%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_2012_%D0%A0%D0%B8%D1%81_01.19_%D0%A2%D0%B8%D0%BF%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%B0_%D1%81_%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%B2%D0%BA%D0%BE%D0%B9.JPG

віссю рукавів. Крім того, необхідний додатковий простір над фільтром для вилучення каркасів, а також наявність стисненого повітря з тиском до 6 атмосфер.

Водночас ці фільтри мають суттєві переваги над іншими типами конструкцій, особливо в малих аспіраційних системах. Найбільшого поширення серед фільтрів загальногалузевого застосування набули методи регенерації, такі як імпульсне продування стисненим повітрям у різних виконаннях, зворотнє продування очищеним газом або чистим повітрям, а також механічне обтрушування в комбінації із зворотним продуванням.

Головним елементом рукавного фільтра є корпус. До нього висувають ключові вимоги: герметичність, стійкість до корозії, міцність і мінімальні тепловтрати.

За формою корпуси фільтрувальних апаратів поділяються на циліндричні та прямокутні. Циліндричні корпуси використовуються у фільтрах, що працюють при тиску або розрідженні понад 0,02 МПа, а також за нижчого тиску, якщо апарат односекційний і його нижня частина виконує функцію циклону для осадження грубих фракцій пилу. Основними перевагами циліндричних корпусів є їхня висока міцність, простота виготовлення та низький рівень витрат металу на одиницю об'єму.

Прямокутні корпуси характерні для багатосекційних апаратів, що працюють при тиску або розрідженні нижче 0,02 МПа. У разі дворядного розташування секцій прямокутна форма забезпечує можливість встановлення між рядами колекторів для розподілу запиленого газу та збирання очищеного. Це робить конструкцію компактною, зменшує витрати металу та скорочує трудомісткість виготовлення.

Малі фільтри зазвичай виготовляються зварними у формі окремих блоків чи панелей, які на місці монтажу збираються за допомогою болтів або методом зварювання.

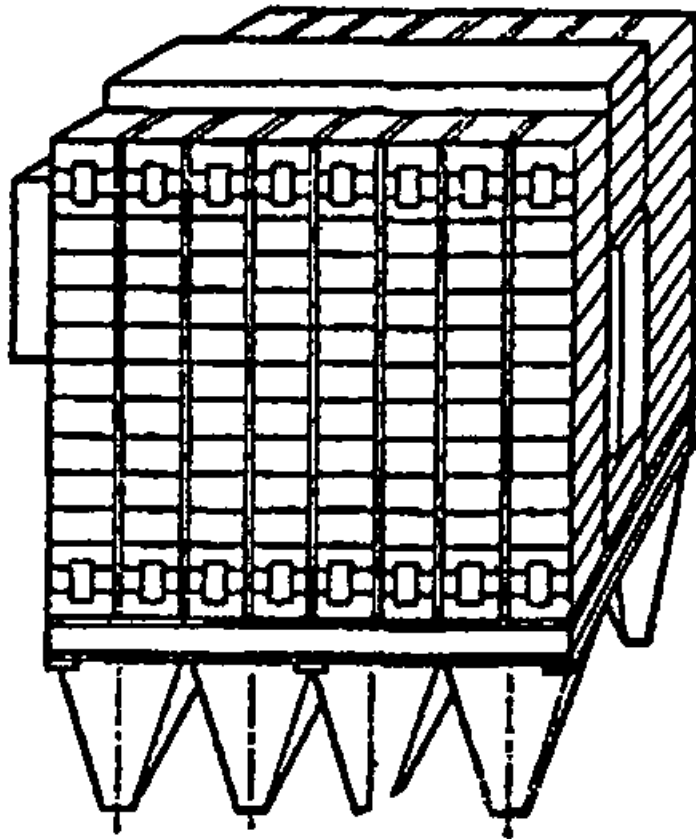


Рисунок 2.10 - Схема корпусу рукавного 10-секційного фільтру ФРО-20000

Основним елементом конструкції корпусів рукавних фільтрів є бункер. Щоб забезпечити ефективне відведення вловленої пилу, кут нахилу стінок бункера повинен перевищувати кут природного укосу цього матеріалу. У більшості пристроїв цей кут нахилу стінок бункера до горизонтальної площини складає 60° . У нижній частині бункера зазвичай розташовують гвинтовий або скребковий конвеєр, який транспортує пил до розвантажувального отвору.

Картриджні фільтри застосовуються для очищення забрудненого повітря від пилу. У цьому процесі газовий потік проходить через спеціальні картриджі, в яких компактно розміщений фільтрувальний матеріал з складчастою структурою, що забезпечує значну загальну площу фільтрації. Картриджні фільтри поділяються на два основні типи: з горизонтальним і вертикальним розташуванням картриджів (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Картриджний пиловловлювач із картриджами, що встановлюються горизонтально

Цей тип фільтрів очищує повітря, пропускаючи потоки, забруднені пилом, через спеціальний фільтрувальний матеріал. У конструкції використовуються картриджі, які забезпечують велику кількість фільтрувального матеріалу завдяки їх складчастій структурі. Для виготовлення таких картриджів можуть застосовуватися різноманітні види фільтрувальних матеріалів. Завдяки складкам значно збільшується площа поверхні фільтрувального матеріалу, що підвищує ефективність фільтрації. Однак, через високу швидкість проходження повітря до фільтрувального елемента існує ризик повторного потрапляння раніше вловленого пилу назад у картридж, наприклад, після процесу регенерації. Тому швидкість фільтрації обмежується відношенням витрати повітря до площі фільтрувального матеріалу $0,61 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$.

Картриджні фільтри функціонують за схожим принципом із рукавними фільтрами з імпульсною продувкою – пил осідає на зовнішній стороні фільтрувального матеріалу. Для очищення стиснене повітря подається всередину елемента, видаляючи накопичений шар пилу. Завдяки складкам фільтрувального матеріалу в картриджах його

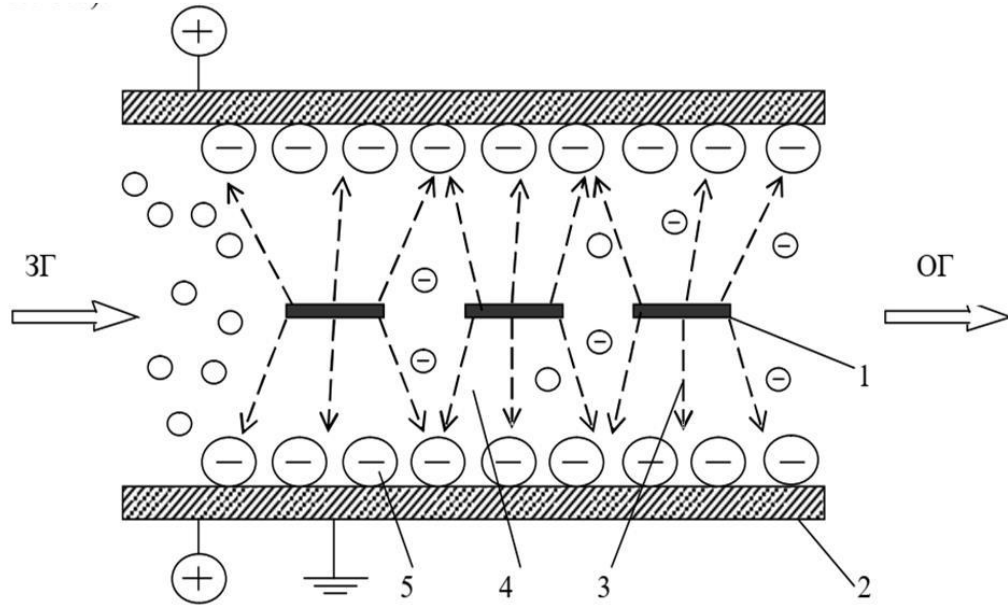
загальна площа більша, що дозволяє зменшити розмір фільтра за однакових обсягів очищення повітря. Це, в свою чергу, знижує капітальні витрати на закупівлю та встановлення обладнання. Особливістю картриджних фільтрів є зручність монтажу: оскільки вони вставляються збоку корпусу, вимоги до висоти приміщення менш суворі в порівнянні з рукавними фільтрами. Заміна фільтрувального елемента виконується швидко, що пришвидшує процес технічного обслуговування.

Разом із тим, ці фільтри мають певні обмеження. Зокрема, вибір доступних фільтрувальних матеріалів обмежений, що обмежує їх використання в умовах екстремальних температур і високої вологості. Крім того, через велику площу матеріалу в складках витрати на заміну картриджа перевищують витрати на заміну одного рукава. Головною перевагою картриджних фільтрів залишається їхня компактність і простота заміни елементів. У нормальних умовах експлуатації термін служби картриджа може досягати двох років, проте система прив'язує користувача до продукції конкретного виробника, що може підвищувати вартість обслуговування через відсутність цінової конкуренції.

Ефективність картриджних фільтрів знижується при роботі з липким або вологим пилом. Їхнє використання зазвичай обмежується температурою до 83°C. Крім того, при очищенні сильно запиленого повітря вони поступаються рукавним фільтрам, адже складки фільтрувального матеріалу очищуються менш ефективно порівняно з рукавами.

Електричне очищення газових викидів є одним із найефективніших методів усунення завислих частинок пилу та туману, забезпечуючи вловлювання до 99% цих частинок. Процес пиловловлення в електрофільтрах являє собою складний фізичний механізм, що об'єднує гравітаційне, інерційне, дифузійне та електростатичне осадження.

Ключовими компонентами електричного фільтра виступають коронувальний електрод (1) та осаджувальний електрод (2), разом вони формують неоднорідне електричне поле (3), як зображено на рис. 2.12.



1 - коронувальний електрод; 2 - осаджувальний електрод; 3 - електричне поле; 4 - заряджена зона; 5 - осілий шар пилу

Рисунок 2.12 - Принцип роботи електрофільтра

Коронувальні електроди ізолюються від землі, тоді як осаджувальні електроди залишають заземленими. До коронувальних електродів подається випрямлений струм негативної полярності із напругою 50-80 кВ, а осаджувальні електроди підключаються до позитивного полюса. Коронувальні електроди зазвичай виконуються у формі тонкого дроту, тоді як осаджувальні електроди виготовляються у вигляді циліндричних або шестигранних труб, а також профільованих пластин.

Процес очищення газів в електрофільтрах відбувається наступним чином. Забруднені гази проходять через неоднорідне електричне поле, яке формується між коронувальним і осаджувальним електродами. У такому полі вільні електрони та позитивно заряджені молекули починають переміщатися вздовж силових ліній. Напрямок руху залежить від заряду частинок, а інтенсивність – від напруженості поля.

Чим вища напруженість електричного поля, тим більше прискорення отримують іони та електрони. При достатній швидкості утворені іони та електрони, стикаючись із нейтральними молекулами газу, здійснюють їх іонізацію, провокуючи вторинний процес ударної іонізації. Найактивніше це явище спостерігається біля поверхні коронувального електрода, на якому зосереджується прикладена напруга.

На вході в електрофільтр частинки пилу потрапляють на розподільчу жалюзійну решітку, де на них впливають інерційні сили. Їх величина визначається розмірами частинок, конструкцією решітки та швидкістю руху газового потоку в апараті. У цій зоні забезпечується рівномірний перерозподіл газового потоку по всьому перерізу апарата.

Після проходження жалюзійної решітки на частинки починають діяти гравітаційні сили. У вертикальних електрофільтрах ці сили ефективні лише до моменту потрапляння частинок у міжелектродний простір. Натомість у горизонтальних електрофільтрах гравітаційний вплив зберігається протягом усього часу переміщення частинок. Гравітаційні сили залежать від швидкості потоку газу, його в'язкості, а також розмірів і густини частинок пилу.

У міжелектродному просторі на частинку пилу одночасно впливають кілька чинників: електростатичні сили іонного вітру, турбулентна та теплова дифузії. Величина електростатичних сил визначається різницею потенціалів між коронувальним і осаджувальним електродами, конструкцією самого електрофільтра, властивостями пилу, розміром частинок і параметрами газового потоку.

Сила теплової дифузії залежить від температури газу та розмірів пилових частинок. Водночас величина сил турбулентної дифузії визначається швидкістю газового потоку, конструктивними характеристиками електрофільтрів, розмірами пилових частинок і наявністю перешкод на шляху потоку.

На загальний рівень очищення в електрофільтрах значно впливає явище електронного вітру. Він формується внаслідок дії іонів газу, полярність яких протилежна полярності коронувального електрода. Ці іони виникають під впливом коронного розряду та є його складовою частиною. Передача кількості руху від іонів газу, які перебувають у русі під дією електростатичного поля, до частинок газу, що обертаються, спричиняє утворення газового потоку між електродами. Цей рух отримав назву електронного або іонного вітру. Його середня швидкість у робочих умовах варіюється від 0,3 до 0,6 м/с, тоді як максимальні локальні значення можуть досягати 3 м/с.

Через вплив електронного вітру тиск біля осаджувального електрода трохи перевищує тиск у зоні коронувального електрода. Це призводить до зростання турбулентності газового потоку в електрофільтрі, що своєю чергою сприяє збільшенню граничного заряду дрібнодисперсних частинок.

Метод очищення газових викидів від забруднень за допомогою електрофільтрів ґрунтується на використанні електричних сил. Класифікація таких пристроїв представлена на рисунку 2.13.

Агрегати живлення електрофільтрів складаються з регулятора напруги, підвищувального трансформатора та високовольтного випрямляча. Ефективність роботи електрофільтра визначається параметрами робочої напруги, яка має максимально наближатися до рівня напруги пробую. Оптимальну роботу електрофільтра забезпечує регулювання напруги на електродах, яка повинна утримуватися на якомога вищому рівні. Напруга пробую в електрофільтрі залежить від таких факторів, як обсяг газів, що подаються на очищення, їх температура, вологість, густина, концентрація частинок у газах, наявність шару пилу на електродах тощо. Цей показник може значно варіюватися, особливо у випадку застосування сухих електрофільтрів.

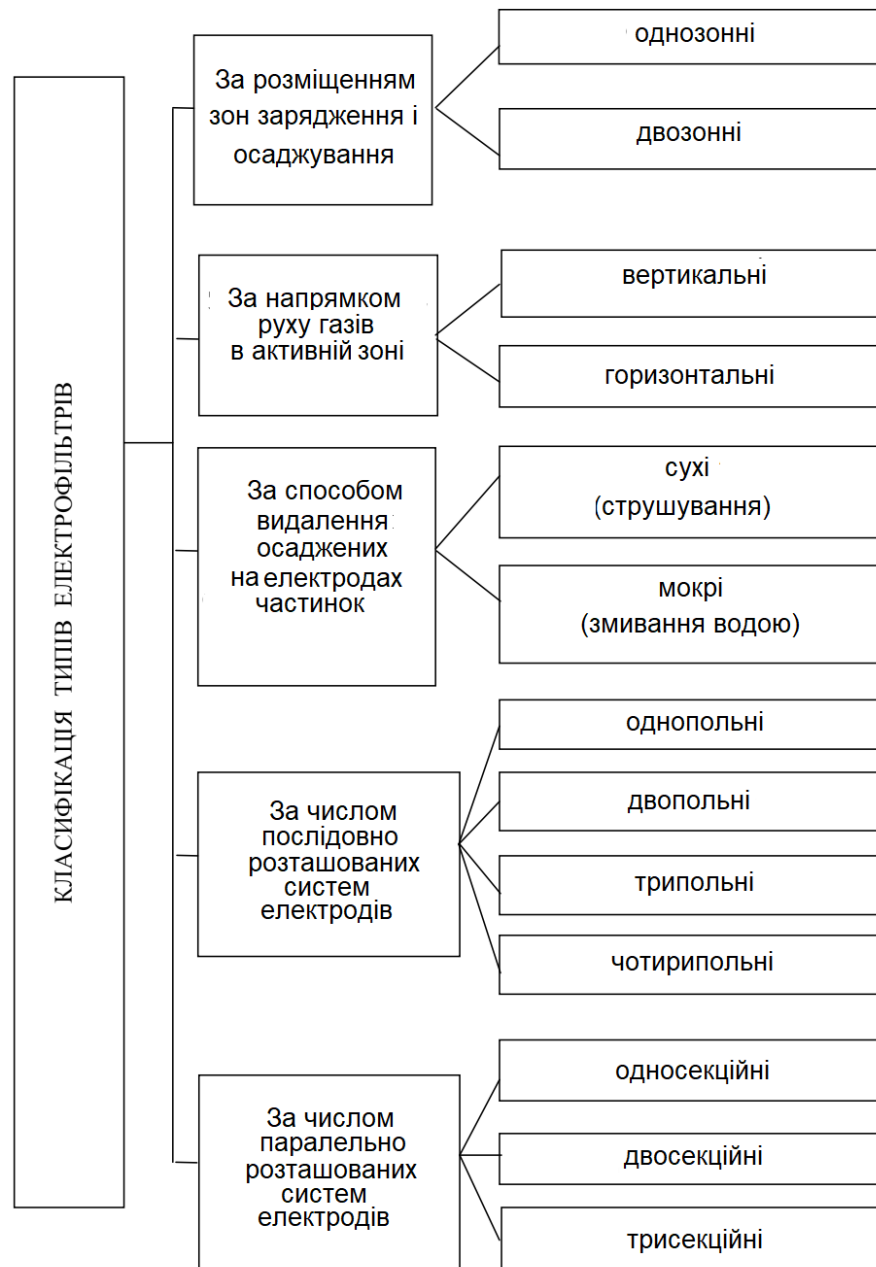
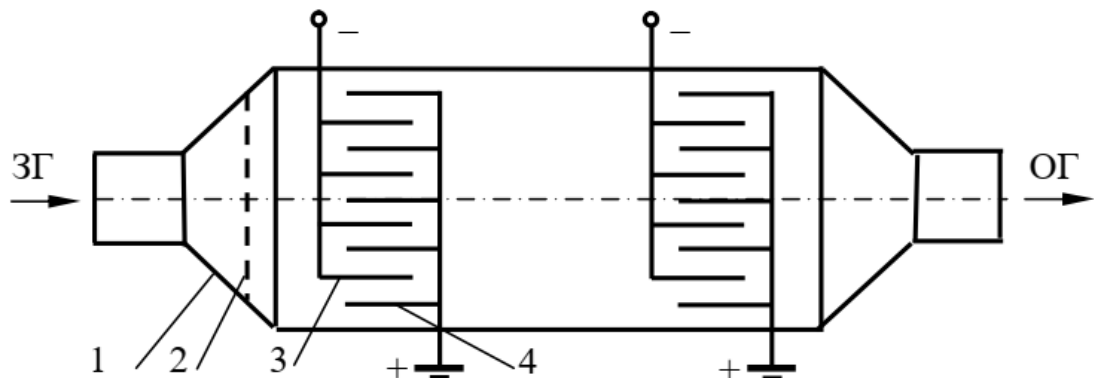


Рисунок 2.13 - Класифікація електрофільтрів

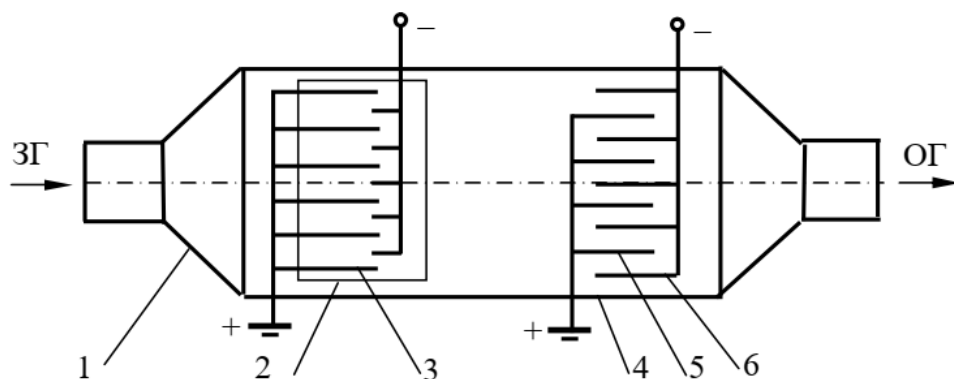
Якість очищення газів в електрофільтрі залежить від способу та режиму регенерації електродів. У сухих електрофільтрах для видалення пилу з осаджувальних і коронувальних електродів використовуються системи пружинно-кулачкового, ударно-молоткового, магнітно-імпульсного та вібраційного струшування. У мокрих електрофільтрах для видалення осаджених твердих частинок застосовується безперервне або періодичне промивання електродів із подачею на них необхідної кількості рідини для змиву осаду.

Електрофільтри поділяються за особливостями конструкції. Залежно від розміщення зон зарядки й осадження виділяють однозонні та двозонні моделі. В однозонних електрофільтрах зони зарядки та осадження поєднані, тоді як у двозонних ці процеси виконуються окремо: зарядка здійснюється в іонізаторі, а осадження – в осаджувачі. Крім цього, за кількістю послідовно встановлених осаджувальних електродів існують одно-, дво-, три- та чотирипільні електрофільтри. Конструктивну схему однозонного двопільного електрофільтра представлено на рисунку 2.14, а двозонного – на рисунку 2.15⁹.



1 - корпус; 2 - газорозподільна решітка; 3 - система коронувальних електродів;
4 - осаджувальні електроди

Рисунок 2.14 - Конструктивна схема однозонного двопільного електрофільтра



1 - корпус; 2 - іонізатор; 3 - електроди іонізатора; 4 - осаджувач;
5 - осаджувальні електроди; 6 - коронувальні електроди

Рисунок 2.15 - Конструктивна схема двозонного електрофільтра

⁹ https://studopedia.com.ua/1_30814_vidi-zabrudnyuvachiv-i-dzherela-zabrudnennya-atmosferi.html#google_vignette

Для очищення технологічних викидів від пилу застосовуються горизонтальні сухі електрофільтри серії УГ загальнопромислового призначення. Вони поділяються на три габаритні моделі залежно від активної висоти електричного поля:

- УГ1, з активною висотою електричного поля 4,2 м;
- УГ2, з активною висотою електричного поля 7,5 м;
- УГ3, з активною висотою електричного поля 12,2 м.

Моделі УГ1 та УГ2 мають довжину електричного поля 2,5 м, тоді як в УГ3 цей показник становить 4 м. Електрофільтри УГ1 випускаються у дво- та трипільному виконанні, а УГ2 та УГ3 – у три- та чотиріпільному.

Осаджувальні електроди цих електрофільтрів виготовляються з профільованих тонкостінних широкосмугових елементів відкритого профілю, оснащених системою молоткового струшування знизу. Коронувальні електроди мають рамну конструкцію з боковим підвищенням і закріплені на кварцових опорно-прохідних ізоляторах; їх також очищають методом молоткового трясіння. Елементи коронувальних електродів виконані у вигляді голчастої структури зі сталеву основою та виштампованими вістрями. Основні технологічні параметри цих електродів можна знайти в таблиці 2.9.

Горизонтальні електрофільтри серії ЕГА модифікації А забезпечують високі техніко-економічні характеристики процесу сухого електрогазоочищення. Конструкція електродної системи складається з елементів відкритого широкосмугового профілю шириною 640 мм, а також рамних коронувальних електродів із вбудованими голчастими елементами.

Електрофільтри з кількістю проходів від 10 до 40 виготовляють як односекційні, а від 48 до 88 – як двосекційні. Основні технічні параметри сухих горизонтальних електрофільтрів серії ЕГА подано в таблиці 2.10. У типорозмірах фільтрів цієї серії позначення після букв вказують на такі характеристики: перше число – кількість секцій, друге – кількість газових проходів, третє – номінальну висоту електродів у метрах, четверте –

кількість елементів в осаджувальному електроді, п'яте – кількість електричних полів по довжині електрофільтра.

Таблиця 2.9 - Основні технічні характеристики сухих електрофільтрів серії УГ

Показники	Марка						
	УГ-2-10	УГ-2-3-26	УГ-2-3-37	УГ-3-4-37	УГ-3-4-88	УГ-3-4-115	УГ-3-4-230
Активна висота електродів, м	4,2	7,5	7,5	7,5	12,2	12,2	12,2
Активна довжина електричного поля, м	2,51	2,51	2,51	2,51	3,95	3,95	3,95
Загальна площа осаджування, м ²	420	1690	2350	3150	12300	16100	32200
Площа активного перерізу, м ²	10	25	37	37	88	115	230
Питомі витрати електроенергії на 1000 м/год газу, кВт·год	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Максимальні ступені очищення	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Максимальна температура очищування газів, °С	250	250	250	250	250	250	250
Крок між однойменними електродами, мм	300	300	300	300	300	300	300
Габаритні розміри, м:							
довжина	9,5	14,1	14,1	18,6	24,8	24,8	24,8
висота	12,3	15,4	15,4	15,4	21,8	21,8	21,8
ширина	3,0	4,5	6,0	6,0	9,0	12,0	24,0

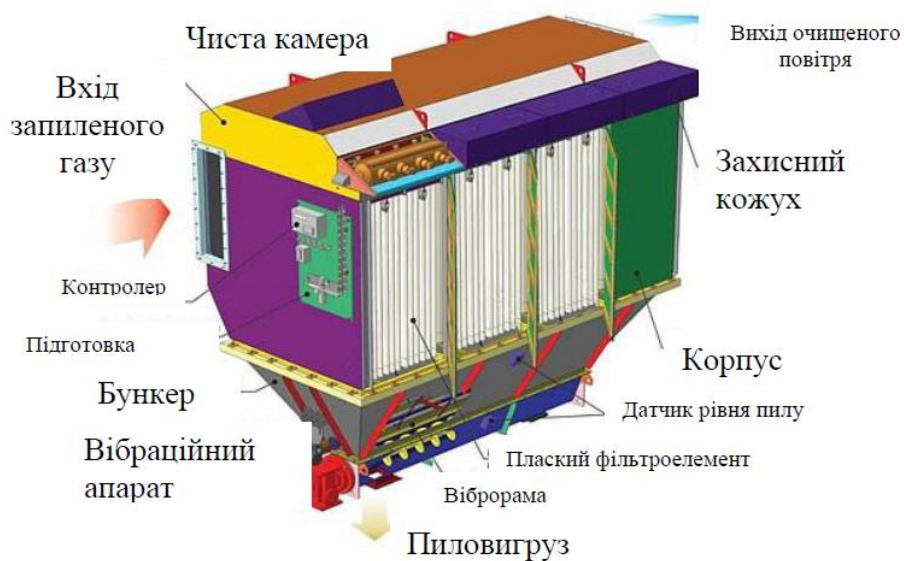


Рисунок 2.16 – Модель електричного фільтра¹⁰

¹⁰ <https://ppt-online.org/157052>

Основні конструктивні та технічні параметри сухих вертикальних електрофільтрів серій УВ і УВВ також наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Основні технічні характеристики сухих електрофільтрів серії ЕГА, УВ та УВВ

Показники	ЕГА1-10-6-4-2	ЕГА1-14-7,5-4-3	ЕГА1-20-7,5-6-2	ЕГА1-30-9-6-3	ЕГА1-40-12-6-3	ЕГА2-88-12-6-4	УВ-3x16	УВ-3x24	УВВ-8	УВВ-15
Активна висота електродів, м	6	7,5	7,5	9,0	12	12				
Активна довжина електричного поля, м	2,56	2,56	3,84	3,84	3,84	3,84	7,4	7,4	6,2	6,2
Загальна площа осаджування, м ²	630	1660	2360	6360	11250	33000	1800	3900	285	570
Площа активного перерізу, м ²	16,5	28,7	41,0	73,4	129,8	285,6	32	72	8	16
Питомі витрати електроенергії на 1000 м ³ /год газу, кВт·год	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,11	0,11	0,11	0,11
Максимальні ступені очищення	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Максимальна температура очищування газів, °С	330	330	330	330	330	330	250	250	130	130
Крок між електродами, мм	300	300	300	300	300	300	275	275	350	350
Число секцій	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1
Габаритні розміри, м:										
довжина	9,26	17,28	11,82	17,26	17,28	22,74	9,0	13,5	20,0	20,0
висота	12,4	14,9	15,4	16,4	16,9	19,9	19,9	21,4	3,15	3,15
ширина	3,2	4,4	6,2	9,2	12,2	27,2	4,5	6,0	3,0	6,0

Приймання цементу здійснюється з залізничних вагонів різних типів: критих, спеціалізованих бункерного типу та з пневмовивантаженням. До складу приймального пристрою входить бункер місткістю 30 т, під яким розташований пневмопідйомник. Ці елементи встановлюються у прямокутний розміром 6,0 x 6,0 м і глибиною 5,6 м.

Будівельний комплекс складу виконано в стаціонарному форматі з використанням збірного залізобетону. Приймальний пристрій утеплений та оснащений системою опалення. У приміщеннях, що обігріваються, підтримується температура $+5^{\circ}\text{C}$ і відносна вологість повітря становить 50%.

Розвантаження цементу з вагонів-цементовозів із саморозвантажувальними системами проводиться на спеціально обладнаному пункті. Максимальна пропускна здатність такого пункту становить дев'ять вагонів, кожен з яких має місткість 68-70 тонн. Розвантаження здійснюється почергово: тривалість обробки одного вагону становить 30-40 хвилин. Пункт розрахований на одночасну обробку одного вагону.

Процес розвантаження цементу відбувається гравітаційним способом із вагона у приймальний бункер та виконується у такій послідовності:

- встановити вагон на точці розвантаження за допомогою тепловоза або тягової лебідки;
- зафіксувати вагон після позиціонування над приймальним бункером;
- перед початком вивантаження відкрити кришки завантажувальних люків для уникнення утворення вакууму в кузові;
- запустити насоси подачі цементу на склад, після чого відкрити розвантажувальні люки, обертаючи штурвал;
- при завершенні вивантаження закріпити вібратор для розпушування залишкового матеріалу;

- переконатися у повному звільненні вагону після припинення сипання матеріалу;
- очистити дах вагону, раму, перехідні містки та колісні пари від залишків цементу за допомогою шланга зі стисненим повітрям або віника;
- прибрати цемент із залізничних рейок;
- видалити залишки цементу з бункера, кришок розвантаження та гумових ущільнювачів, закрити розвантажувальні кришки.

Цемент із приймального бункера транспортується за допомогою пневматичних шнекових насосів через цементопровід безпосередньо в силоси розподільчого складу.

3.2 Властивості цементного пилу

Пил, як один із шкідливих чинників навколишнього середовища, здійснює несприятливий вплив на людський організм, виражений через його фізико-хімічні властивості: дисперсність, розчинність частинок і хімічний склад. Вплив пилу може бути не лише прямим, але й опосередкованим. Зокрема, підвищений рівень запиленості атмосфери знижує інтенсивність ультрафіолетового випромінювання, змінює ступінь та характер іонізації повітря, сприяє утворенню туманів, негативно впливає на ріст зелених насаджень через зниження ефективності фотосинтезу.

Цементний пил визнано канцерогенним поллютантом і занесено до переліку небезпечних забруднювачів. Встановлено, що основними джерелами пилоутворення на бетонних заводах є зони завантаження, розвантаження, пересипання сировини та конвеєрні лінії для її транспортування. У таких виробництвах спостерігаються як організовані, так і неорганізовані викиди в атмосферу. Частка неорганізованих викидів становить до 28% від їх загального обсягу.

Присутність аерозолів та інших шкідливих речовин у повітряному середовищі виробничих приміщень, а також їх викид назовні зумовлені недоліками технологічних процесів і обладнання. Зокрема, це стосується негерметичності технічних систем та недостатньої ефективності або повної відсутності спеціальних пристроїв для пилоуловлювання і локалізації викидів.

Аерозолі є дисперсними системами, в яких газ (наприклад, повітря) слугує дисперсним середовищем, а тверді або рідкі частинки — дисперсною фазою. Найдрібніші частинки аерозолів за своїм розміром наближаються до великих молекул, тоді як більші утримуються в підвішеному стані тривалий час. В атмосфері такі забруднення проявляються у вигляді диму, туману тощо. Значна кількість аерозолів утворюється в результаті взаємодії твердих і рідких частинок між собою або з водяною парою. Середній діаметр частинок аерозолів коливається в межах 1-5 мкм, до них відносять пил, тумани та дими.

Пил класифікують як дисперсні аерозолі, що складаються з твердих частинок різної дисперсності. Водночас пилом традиційно називають також осілі частинки, такі як гель чи аерогель. Тумани є газоподібними середовищами з рідкими частинками незалежно від їх розміру. Дими представляють собою конденсаційні аерозолі з твердою дисперсною фазою.

Для ефективного процесу пилоуловлювання необхідно враховувати фізико-хімічні властивості пилу та туманів. До найбільш важливих характеристик належать дисперсний (фракційний) склад, щільність, адгезійні властивості, змочуваність, електрична зарядженість частинок і питомий опір шарів частинок. Особливо важливою є інформація про дисперсний склад пилу та туманоподібних димів для правильного вибору пилоуловлювального обладнання.

Аерозолі зазвичай є полідисперсними системами, тобто вони містять частинки різних розмірів. Дисперсність визначається як ступінь

подрібнення речовини, а під дисперсним (зерновим або гранулометричним) складом розуміють розподіл аерозольних частинок за їхніми розмірами. Цей показник ілюструє, які розміри частинок переважають у складі аерозолі, а також відображає масу або кількість частинок відповідного розміру.

Дисперсність відіграє вагомую роль у визначенні фізико-хімічних властивостей аерозолів. У процесі диспергування багато властивостей матеріалу зазнають змін, а також можуть виникати нові характеристики. Це значною мірою обумовлено багатократним збільшенням сумарної поверхні частинок у результаті подрібнення.

Розмірно-дисперсний склад пилу має принципове значення для розробки та оптимізації пилоуловлюючих пристроїв і систем, а також для впровадження заходів щодо попередження утворення пилу та обмеження його поширення в навколишньому просторі.

Діапазон дисперсності частинок в аерозолях є надзвичайно широким: від 10^{-7} мкм до десятків мікрометрів. Нижню межу цього діапазону обумовлено можливістю тривалого самостійного існування малих частинок, тоді як верхня межа визначається швидким осіданням великих частинок під дією сил гравітації, через що вони практично не залишаються в підвішеному стані.

Для аналізу частотного розподілу частинок увесь діапазон їхніх розмірів поділяється на фракції. Фракцією називають масову або рахункову частку частинок, що належить до певного інтервалу розмірів. Наприклад, часто використовується наступний градаційний рядок для класифікації пилових частинок: 1-1,3-1,6-2,0-2,5-3,2-4,0-5,0-6,3-8,0-13-16-20-25-32-40-50-63 мкм.

Характеристика розподілу пилу за фракціями у відсотковому співвідношенні до загальної маси наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дисперсний склад цементного пилу

Показник	Розмір часток на межах фракцій, мкм									
	<1,5	1,5-2,5	2,5-5	5-7,5	7,5-10	10-15	15-20	20-35	35-50	>50
Фракції, % від загальної маси частинок	1,19	3,23	5,59	11,16	14,45	29,84	24,65	6,06	2,9	1,03

Одним із ключових параметрів пилу є його щільність, яка значною мірою визначає ефективність осадження частинок у гравітаційних і відцентрових пилоуловлювачах. Адгезійні властивості пилових частинок впливають на їхню схильність до злипання. Підвищений рівень злипання призводить до зростання ймовірності засмічення окремих елементів пилоуловлювачів і утворення налипань на внутрішніх поверхнях газоходів. Фактором, що збільшує злипання, є зменшення розмірів частинок пилу, а також їх зволоження. Здатність частинок взаємодіяти із рідиною (змочуваність, наприклад, водою) відіграє важливу роль у роботі мокрих пилоуловлювачів, тоді як електричний заряд частинок впливає на їхню поведінку у фільтрувальних системах і газових потоках.

Під час технологічних операцій з розвантаження, транспортування та навантаження цементу рівень пиловиділення зростає пропорційно до обсягу матеріалу. У виробничих приміщеннях і на технологічних ділянках з організованими джерелами викидів пилу запиленість, хоча й висока, зазвичай не перевищує встановленого гранично допустимого концентраційного рівня (ГДК). Однак у підрозділах з неорганізованими джерелами викидів, де відсутні засоби пилоочищення (наприклад, на ділянках транспортування сировини та в цехах готової продукції), концентрація пилу нерідко перевищує нормативні показники у 10 разів або більше.

Хімічний склад цементного пилу представлено у таблиці 1.1 кваліфікаційної роботи. Дані щодо концентрації дрібнодисперсного пилу (з розміром частинок) викладено в таблиці 3.1.

3.3 Розгляд заходів можливих для впровадження на об'єкті для скорочення викидів від пункту розвантаження цементу

Для мінімізації можливих джерел неорганізованих викидів пилу рекомендується забезпечити просте та лінійне компонування майданчику. Належне та повне технічне обслуговування установки завжди опосередковано зменшує утворення неорганізованого пилу за рахунок зменшення витоків повітря та кількості точок просипання. Використання автоматичних пристроїв та систем контролю, як і безперебійна та безаварійна робота, також допомагають зменшити неорганізовані викиди пилу [11].

З метою скорочення викидів цементного пилу від об'єкту дослідження розглянемо кілька технологій зі зниження неорганізованих викидів пилу, які можна застосовувати окремо або у комбінації:

- огороження / закриття кожухами операцій, що супроводжуються утворенням пилу, таких як розвантаження;
- зменшення витоків повітря та кількості точок просипання, повне укомплектування установки (герметизація устаткування тощо);
- забезпечення безаварійної роботи;
- використання пересувних та стаціонарних пилососів для належного та повного технічного обслуговування установки:
- під час операцій технічного обслуговування або у разі відмови транспортних систем матеріали можуть просипатися. Для запобігання утворенню неорганізованого пилу під час операцій з прибирання матеріалів слід використовувати вакуумні системи. Існуючі будівлі зазвичай зручніше оснащувати пересувними вакуумними очисними системами з гнучкими з'єднаннями;
- вентиляція та уловлювання пилу;
- усі вантажні операції з матеріалами, наскільки це можливо, слід виконувати у закритих системах, в яких підтримується розрідження.

Всмоктане з цією метою повітря потім очищається від пилу в газоочисних установках, і лише тоді викидається в атмосферу [11].

В роботі пропонується для забезпечення скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, по-перше, виконати огороження / закриття дверима чи механізованими шторами «тунелю» пункту вивантаження цементу з важкого повітронепроникного матеріалу забезпечивши відсутність витoku забруднюючих речовин за його периметр, розбавлення викидів цементного пилу чистим повітрям під час здійснення операцій, що супроводжуються утворенням пилу, таких як розвантаження вагонів (рисунок 3.2, 3.3).



Рисунок 3.2. – Вивантаження цементу

По-друге, в «тунелі», під крівлею місця розвантаження вагонів змонтувати систему уловлення цементного пилу, який утворюється під час розвантаження вагонів і піднімається вгору над вагоном. Шляхом встановлення металевого коробу з отворами по його довжині для забору та відведення запиленого повітря на очищення до очисного апарату. Після

очистки повітря буде викидатися в атмосферне повітря, а уловлений цементний пил направлятися на склад цементу (рисунок 3.4).

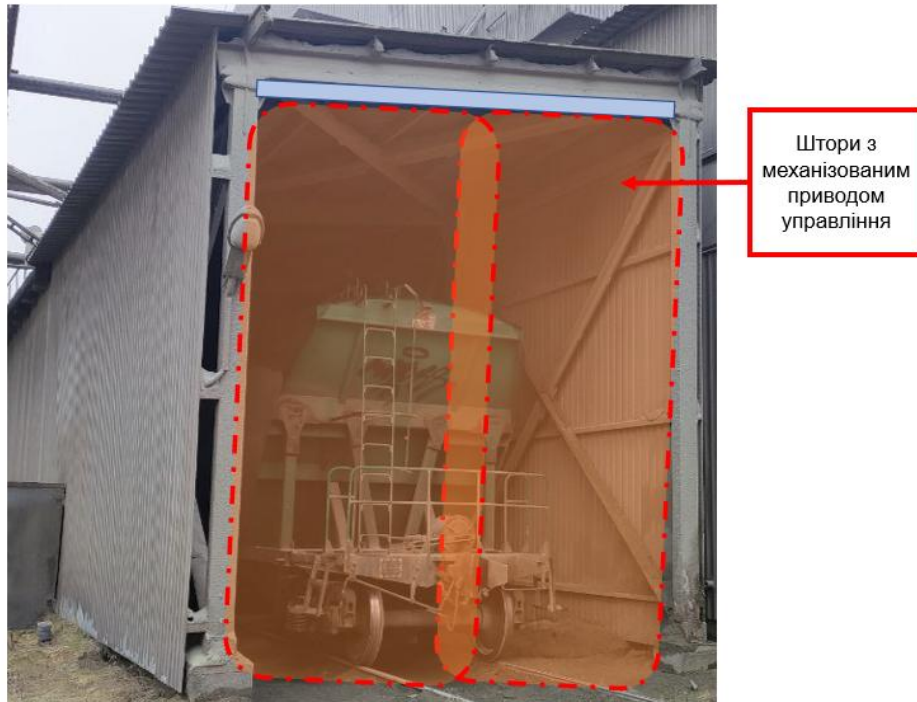


Рисунок 3.3 – Укриття місця пилоутворення

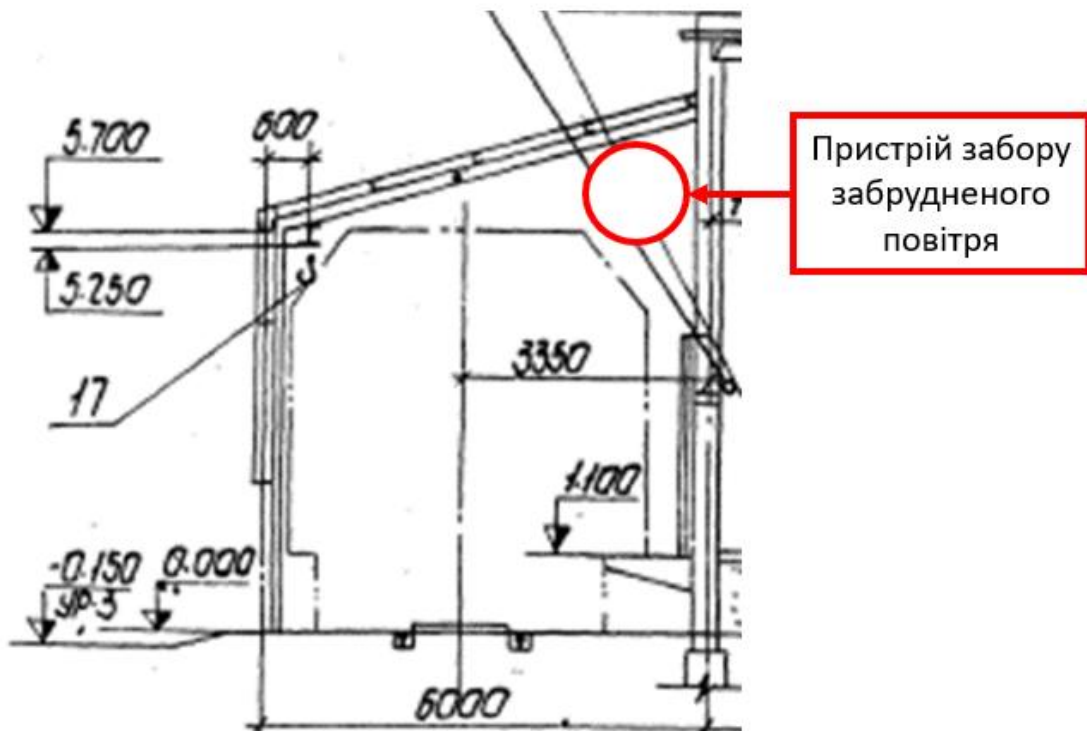


Рисунок 3.4 – Встановлення пристрою з забору забрудненого повітря

Для ефективного уловлювання пилу та очищення газо-пилоповітряної суміші на бетонних заводах активно використовуються апарати із закручуванням повітряного потоку, відомі як циклони. У пункті 2.5.3 кваліфікаційної роботи розглянуто різновиди циклонів, їхню класифікацію, технічні характеристики та фракційну ефективність очищення промислових газів від пилу.

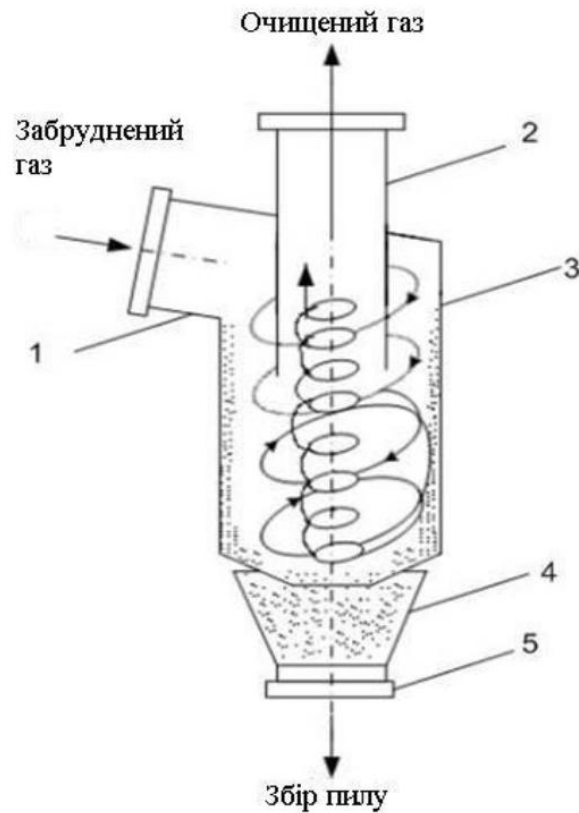
3.4 Розрахунок установки очистки газу від цементного пилу

Циклони завдяки дешевизні й простоті будови та обслуговування, порівняно невеликому гідравлічному опору й високій продуктивності є найпоширенішими апаратами сухого механічного пиловловлювання. На рис. 3.5 наведено схему циклона та зображено напрямки потоків повітря в ньому. Запилене повітря з великою швидкістю вводиться тангенціально в апарат. Сформований тут обертовий потік спускається по кільцевому простору (утвореному циліндричною частиною циклона й вихлопною трубою) в його конічну частину, а потім, продовжуючи обертатися, виходить через вихлопну трубу. Частинки, маса яких достатньо велика, відділяються від потоку, досягають стінок циклона і під дією гравітаційних та відцентрових сил опускаються в його бункер. Чим більші частинки, завислі в потоці, і чим інтенсивніший (у відомих межах) обертовий рух, тим ефективніше очищується газ [14].

Геометричні параметри циліндричних циклонів конструкції НДІОГАЗ представлені у вигляді пропорцій від внутрішнього діаметра корпусу D і наведені в табл. 3.2. Для цих циклонів застосовується типовий ряд значень внутрішнього діаметра D , серед яких: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 і 3000 мм.

Продуктивність циклона безпосередньо залежить від діаметра корпусу і зростає зі збільшенням цього параметра. Водночас

ефективність пиловловлювання у циклонах серії ЦН зменшується через підвищення кута нахилу вхідного повітряного потоку в пристрій.



1 - вхідний патрубок; 2 - вихлопна труба; 3 - корпус; 4 - пилоосаджувальний бункер;
5 - пиловий затвор

Рисунок 3.5 – Принципова схема будови та дії циклона¹¹

Таблиця 3.2 - Геометричні розміри циліндричних циклонів (у частках діаметра корпусу D)

Розміри	Марка циклона		
	ЦН-15/ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-11
Кут нахилу кришки і вхідного патрубку, град	15/15	24	11
Висота вхідного патрубку, м	0,66/0,66	1,11	0,48
Висота вихлопної труби, м	1,74/1,5	2,11	1,56
Висота циліндричної частини, м	2,26/1,51	2,11	2,06
Висота конуса, м	2,0/1,5	1,75	2,0
Загальна висота, м	4,56/3,31	4,26	4,38
Ширина вхідного патрубку, м	0,2	0,2	0,2

¹¹

Для розрахунку параметрів циклону, необхідного для очищення забрудненого цементним пилом, потрібна така вихідна інформація:

- кількість газу Q_p , що очищується в робочих умовах, $\text{м}^3/\text{с}$;
- густина газу ρ_g в робочих умовах, $\text{кг}/\text{м}^3$;
- динамічна в'язкість газу μ при робочій температурі, $\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$;
- дисперсний склад пилу, який задається параметрами d_{50} , $\mu\text{м}$, і $I g_{\text{оч}}$;
- запиленість газу, C , $\text{г}/\text{м}^3$;
- щільність частинок пилу ρ_p , $\text{кг}/\text{м}^3$;
- необхідна ефективність очищення газу η , %.

Розрахунок виконується методом послідовних наближень у такій послідовності:¹²

1. Задаємо тип циклона і визначаємо оптимальну швидкість газу в апараті $W_{\text{опт}}$, $\text{м}/\text{с}$, за показниками таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри, які визначають ефективність роботи циклонів

Параметри	Одиниця виміру	Циклони конструкції НДІОГАЗ				Циклони конструкції ВЦНДІОП і Діпродеревопрому		
		ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СІОП	ВЦНДІОП	Діпродерев-пром (тип Ц)
D_{50}^T	мкм	8,50	6,00	4,50	3,65	2,6	8,6	4,12
$I g_{\sigma_{\eta}}^T$	безрозм.	0,308	0,283	0,352	0,352	0,28	0,32	0,34
$W_{\text{опт}}$	м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	1,00	4,00	3,3
ξ	$\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$	75	165	155	245	1400	75	210

2. Визначаємо необхідну площу перерізу циклона, м^2 , за такою формулою:

¹²

<https://ecology.nmu.org.ua/ua/Studies/Disciplines/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97%20%D0%B4%D0%BE%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%96%D1%82%20%D0%9E%D0%93%D0%9F%D0%92.pdf>

$$S = \frac{Q_p}{W_{\text{опт}}}, \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

3. Визначаємо діаметр корпусу циклона, м, таким чином:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}, \text{ м} \quad (3.2)$$

Значення D , отримане за формулою (3.2), округлюється до одного з наступних рівнів: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 або 3000 мм. У разі перевищення максимально допустимого діаметра слід передбачити використання паралельно встановлених циклонів.

4. За вибраним діаметром циклона знаходимо швидкість руху повітряної маси, м/с в ньому, а саме:

$$W_d = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot N \cdot D^2}, \text{ м/с} \quad (3.3)$$

Отримане за формулою (3.3) значення дійсної швидкості газу в циклоні не повинно відхилятися від оптимальної швидкості більше ніж на 15 %.

5. З таблиці 3.3 або 3.4 обирають значення коефіцієнта гідравлічного опору ξ , відповідне заданому типу циклона. При розрахунку циклонів типу НДІОГАЗ (одиначних чи груп) вводяться уточнювальні поправки за такою формулою:

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500}^{c(n)} + K_3, \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2 \quad (3.4)$$

де $\xi_{500}^{c(n)}$ - коефіцієнт гідравлічного опору в одиночному циклоні діаметром 500 мм (таблиця 3.5); індекс c означає, що циклон працює в

гідравлічній мережі, а n - без мережі, тобто відбувається безпосередній викид повітря в атмосферу;

K_1 - поправочний коефіцієнт на визначення діаметру циклону, зокрема в розрахунках установок типу НДІОГАЗ ($D = 150, 200, 300, 450, 500$ мм), його величина становить 0,85, 0,9, 0,93, 1,0, 1,0 відповідно;

K_2 - поправочний коефіцієнт на ступінь запиленості газу (таблиця 3.5);

K_3 - коефіцієнт, який враховує додаткові втрати тиску при роботі групи циклонів (таблиця 3.6), а коли циклон один, то $K_3 = 0$.

Таблиця 3.4 – Значення коефіцієнтів гідравлічного опору ξ циклонів типу НДІОГАЗ, $\text{H}\cdot\text{с}/\text{м}^2$ ($D = 500$ мм, $W = 3$ м/с)

Тип циклона	d/D	Без додаткових пристроїв		З кільцевим дифуззором		З вихідним завитком
		$\xi_{\text{ц}}^{\text{с}}$	$\xi_{\text{ц}}^{\text{н}}$	$\xi_{\text{ц}}^{\text{с}}$	$\xi_{\text{ц}}^{\text{н}}$	
ЦН-11	0,59	245	250	207	215	235
ЦН-15	0,59	155	163	132	140	150
ЦН-15У	0,59	165	170	140	148	158
ЦН-24	0,59	75	80	64	70	73

Таблиця 3.5 - Значення поправочних коефіцієнтів K_2 на ступінь запиленості газів, що надходять у циклон ($D = 500$ мм)

Марка циклону	Запиленість газів, $C_{\text{вх}}$, г/м ³						
	1	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86

Таблиця 3.6 - Значення поправочних коефіцієнтів K_3 для розрахунку параметрів групи циклонів марки ЦН

Характеристика групи циклонів	Значення коефіцієнту K_3
Кругове компонування, нижнє підведення газу	60
Прямокутне компонування, циклонні елементи розташовані в одній площині. Відведення чистого газу із загальної камери	35
Прямокутне компонування, завиткове відведення газу із циклонних елементів	28
Прямокутне компонування. Вільне підведення газового потоку в загальну камеру	60

6. Втрати тиску в циклоні на вході та виході обчислюються за такою формулою:

$$\Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}} = \frac{\xi \cdot \rho_{\text{г}} \cdot W^2}{2}, \text{ Па} \quad (3.5)$$

де $P_{\text{вх}}$ та $P_{\text{вих}}$ - значення тиску на вході в циклон та на виході з нього відповідно;

ξ - коефіцієнт гідравлічного опору циклона;

$\rho_{\text{г}}$ - густина газу в робочих умовах.

Якщо значення ΔP виявляється допустимим ($\Delta P_{\text{доп}} < 2500$ Па), переходять до розрахунку повного опору очищення газу в циклоні. При цьому вважається, що коефіцієнт очищення газу в одиночному циклоні та у групі циклонів однаковий. Однак на практиці ця величина в групі циклонів може бути нижчою через вплив руху газу крізь загальний бункер.

7. З табл. 3.7 обирається значення параметрів d_{50T} та $Ig\sigma_{\eta}^T$ та обчислюється середній розмір частинок пилу (медіанна тонкість очищення) d_{50} в робочих умовах:

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D}{D_T} \cdot \frac{\rho_{\text{п}}^T}{\rho_{\text{п}}} \cdot \frac{\mu}{\mu_T} \cdot \frac{W_T}{W}}, \text{ мкм} \quad (3.6)$$

де D - діаметр циклону, м;

W - швидкість газопилового потоку, м/с;

$\rho_{\text{п}}$ - щільність пилу, кг/м³;

μ - динамічна в'язкість газу, Н·с/м²;

d_{50}^T - розмір частинок пилу, які уловлюються умовним (типовим) циклоном на 50%;

D_T - діаметр типового циклону, 0,6 м;

W_T - швидкість газопилового потоку в типовому циклоні, 3,5 м/с;

$\rho_{\text{п}}^T$ - щільність пилу в типовому циклоні, 1930 кг/м³;

μ_T - динамічна в'язкість газу в типовому циклоні $22,2 \cdot 10^{-6}$ Н·с/м².

8. Ефективність пиловловлювання (очищення) в циклоні знаходимо за такою формулою:

$$\eta = 50 \cdot [1 + \Phi(X)], \% \quad (3.7)$$

де $\Phi(X)$ - таблична функція залежності ефективності очистки η від параметра X , який має таке значення:

$$X = \frac{\lg\left(\frac{d_{pj}}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta}^T + \lg^2 \sigma_{\chi}}} \quad (3.8)$$

де d_{pj} - розмір частинок пилу j -ї фракції в газопиловій суміші, мкм;
 $\lg \sigma_{\chi}$ - ступінь полідисперсності пилу.

Значення параметрів d_{50} і $\lg \sigma_{\chi}$ для деяких видів пилу наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Середні розміри частинок (d_{50}) й полідисперсність ($\lg \sigma_{\chi}$) деяких видів пилу

Технологічний процес	Вид пилу	d_{50} , мкм	$\lg \sigma_{\chi}$
Заточування інструменту	Метал, абразив	38	0,214
Розмелювання в кульовому млині	Цемент	20	0,468
Сушіння вугілля в барабані	Кам'яне вугілля	15	0,334
Експериментальні дослідження	Кварцовий пил	3,7	0,405

9. Значення нормованої функції розподілу ефективності очищення газу $\Phi(X)$ визначається за таблицею 3.8, відповідно до розрахованого за формулою (3.8) значення параметра X .

Таблиця 3.8 - Значення нормальної функції розподілу частинок
пилу у викидах

X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$	X	$\Phi(X)$
-2,70	0,0035	-1,28	0,1003	-0,44	0,3300	0,40	0,6554	1,24	0,8925	2,40	0,9918
-2,60	0,0047	-1,26	0,1038	-0,42	0,3372	0,42	0,6628	1,26	0,8962	2,50	0,9938
-2,50	0,0062	-1,24	0,1075	-0,40	0,3446	0,44	0,6700	1,28	0,8997	2,60	0,9953
-2,40	0,0082	-1,22	0,1112	-0,38	0,3520	0,46	0,6772	1,30	0,9032	2,70	0,9965
-2,30	0,0107	-1,20	0,1152	-0,36	0,3594	0,48	0,6844	1,32	0,9066		
-2,20	0,0139	-1,18	0,1190	-0,34	0,3669	0,50	0,6915	1,34	0,9099		
-2,10	0,0179	-1,16	0,1230	-0,32	0,3745	0,52	0,6985	1,36	0,9131		
-2,00	0,0228	-1,14	0,1271	-0,30	0,3821	0,54	0,7054	1,38	0,9162		
-1,98	0,0239	-1,12	0,1314	-0,28	0,3897	0,56	0,7123	1,40	0,9192		
-1,96	0,0250	-1,10	0,1357	-0,26	0,3974	0,58	0,7190	1,42	0,9222		
-1,94	0,0262	-1,08	0,1401	-0,24	0,4052	0,60	0,7257	1,44	0,9251		
-1,92	0,0274	-1,06	0,1446	-0,22	0,4129	0,62	0,7324	1,46	0,9279		
-1,90	0,0288	-1,04	0,1492	-0,20	0,4207	0,64	0,7389	1,48	0,9306		
-1,88	0,0301	-1,02	0,1539	-0,18	0,4286	0,66	0,7454	1,50	0,9332		
-1,86	0,0314	-1,00	0,1587	-0,16	0,4364	0,68	0,7517	1,52	0,9357		
-1,84	0,0329	-0,98	0,1635	-0,14	0,4443	0,70	0,7580	1,54	0,9382		
-1,82	0,0344	-0,96	0,1685	-0,12	0,4522	0,72	0,7642	1,56	0,9406		
-1,80	0,0359	-0,94	0,1736	-0,10	0,4602	0,74	0,7703	1,58	0,9429		
-1,78	0,0375	-0,92	0,1788	-0,08	0,4681	0,76	0,7764	1,60	0,9452		
-1,76	0,0392	-0,90	0,1841	-0,06	0,4761	0,78	0,7823	1,62	0,9474		
-1,74	0,0409	-0,88	0,1894	-0,04	0,4840	0,80	0,7881	1,64	0,9495		
-1,72	0,0427	-0,86	0,1949	-0,02	0,4920	0,82	0,7937	1,66	0,9515		
-1,70	0,0446	-0,84	0,2005	0,00	0,5000	0,84	0,7995	1,68	0,9535		
-1,68	0,0465	-0,82	0,2061	0,02	0,5080	0,86	0,8051	1,70	0,9554		
-1,66	0,0485	-0,80	0,2119	0,04	0,5160	0,88	0,8106	1,72	0,9573		
-1,64	0,0505	-0,78	0,2177	0,06	0,5239	0,90	0,8159	1,74	0,9591		
-1,62	0,0526	-0,76	0,2236	0,08	0,5310	0,92	0,8212	1,76	0,9608		
-1,60	0,0548	-0,74	0,2297	0,10	0,5398	0,94	0,8264	1,78	0,9625		
-1,58	0,0571	-0,72	0,2358	0,12	0,5478	0,96	0,8315	1,80	0,9641		
-1,56	0,0594	-0,70	0,2420	0,14	0,5557	0,98	0,8365	1,82	0,9656		
-1,54	0,0616	-0,68	0,2483	0,16	0,5636	1,00	0,8413	1,84	0,9671		
-1,52	0,0643	-0,66	0,2546	0,18	0,5714	1,02	0,8461	1,86	0,9686		
-1,50	0,0668	-0,64	0,2611	0,20	0,5793	1,04	0,8508	1,88	0,9699		
-1,48	0,0694	-0,62	0,2676	0,22	0,5871	1,06	0,8554	1,90	0,9713		
-1,46	0,0721	-0,60	0,2743	0,24	0,5948	1,08	0,8599	1,92	0,9726		
-1,44	0,0749	-0,58	0,2810	0,26	0,6026	1,10	0,8643	1,94	0,9738		
-1,42	0,0778	-0,56	0,2877	0,28	0,6103	1,12	0,8686	1,96	0,9750		
-1,40	0,0808	-0,54	0,2946	0,30	0,6179	1,14	0,8729	1,98	0,9761		
-1,38	0,0838	-0,52	0,3015	0,32	0,6255	1,16	0,8770	2,00	0,9772		
-1,36	0,0869	-0,50	0,3085	0,34	0,6331	1,18	0,8810	2,10	0,9821		
-1,34	0,0901	-0,48	0,3156	0,36	0,6406	1,20	0,8849	2,20	0,9861		
-1,32	0,0934	-0,46	0,3228	0,38	0,6480	1,22	0,8888	2,30	0,9893		

У разі, якщо розрахункова величина коефіцієнта ефективності очищення η виявляється нижчою за необхідне значення, що встановлене на основі гранично допустимого рівня викидів пилу в атмосферу, слід обрати інший тип циклона, який характеризується вищим коефіцієнтом гідравлічного опору.

Розраховане значення ефективності захоплення пилу η для циклона порівнюється із нормативним (проектним) показником ефективності $\eta_{пр}$. При цьому враховують концентрацію пилових частинок у газовій суміші перед її надходженням у циклон і після виходу з нього. Розрахунок цього параметра здійснюється за такою методикою:

$$\eta = \frac{C_{вх} - C_{вих}}{C_{вх}} \cdot 100 \%, \quad (3.9)$$

де $C_{вх}$, $C_{вих}$ - концентрація пилу в газопиловій суміші на вході в циклон та на виході з нього, г/м³.

10. Визначається загальна ефективність циклона $\eta_{заг}$, яка є сумою значень ефективності вловлювання частинок різних фракцій:

$$\eta_{заг} = \sum_{j=1}^n \eta_j \cdot m_j, \% \quad (3.10)$$

де η_j - ефективність уловлювання частинок j -ї фракції;

m_j - масовий вміст частинок j -ї фракції, %.

Відповідно, викид в атмосферу часток пилу P становить:

$$P = 100 - \eta_{заг}, \% \quad (3.11)$$

Розрахунок технологічних параметрів роботи циклону. Для очищення газоповітряного потоку, утвореного під час вивантаження цементу на технологічному пункті розвантаження складу, слід

встановити стандартний циклонний пиловловлювач. Потрібно розрахувати ефективність роботи даного пристрою, враховуючи зазначені вхідні параметри:

- витрата газу $Q_p = 6500 \text{ м}^3/\text{год} (1,806 \text{ м}^3/\text{с})$;
- динамічна в'язкість газу $\mu = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2 = 0,08 \text{ кг}/\text{м} \cdot \text{год}$;
- щільність частинок пилу $\rho_p = 1150 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- густина газу в робочих умовах $\rho_g = 0,89 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- дисперсний склад цементного пилу $I g \sigma_c = 0,468$;
- запиленість газу $C_{\text{вх}} = 10 \text{ г}/\text{м}^3$.
- фракція частинок пилу цементу при розмелюванні в кульовому млині дорівнює 1-25 мкм.

Таблиця 3.9 - Фракційний розподіл частинок пилу

Розмір частинок пилу d_p , мкм	Середній розмір частинок пилу d_{pj} , мкм	Вміст частинок пилу у викидах m_j , % від маси
1...5	3	10
5...10	8	25,0
10...15	13	30,0
15...20	18	25,0
20...25	23	10,0

1. Для розрахунку параметрів циклону обрано апарат ЦН-11, діаметр циліндричної частини якого $D = 0,8 \text{ м}$, а також використано величини з табл. 14, 15, 16, 18; прийнято також, що $W_{\text{опт}} = 3,5 \text{ м}/\text{с}$.

2. Розрахунок необхідної площі перерізу циклону (3.1)

$$S = \frac{Q_p}{W_{\text{опт}}} = \frac{1,806}{3,5} = 0,516 \text{ м}^2$$

3. Визначення діаметру корпусу циклону (3.2):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,516}{3,14}} = \sqrt{0,657} = 0,811 \text{ м}$$

Найближче стандартне значення цієї величини $D = 800 \text{ мм}$.

4. Визначення дійсної швидкості руху повітряної маси в циклоні (3.3):

$$W_{\text{д}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot N \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 1,806}{3,14 \cdot 1 \cdot 0,8^2} = 3,595 \text{ м/с,}$$

де N – кількість послідовних або групових циклонів. За замовчуваннями $N=1$.

Швидкість переміщення газу не повинна відхилитися більш ніж на 15 % від оптимальної.

5. Визначення коефіцієнту гідравлічного опору в одиночному циклоні (3.4):

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500}^{c(n)} + K_3 = 1 \cdot 0,96 \cdot 245 + 0 = 235,2 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$$

6. Визначення втрат тиску в циклоні на вході та виході (3.5):

$$\Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}} = \frac{\xi \cdot \rho_{\text{г}} \cdot W_{\text{д}}^2}{2} = \frac{235,2 \cdot 0,89 \cdot 3,595^2}{2} = 1352,7 \text{ Па}$$

7. Визначення середнього розміру частинок пилу (3.6):

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D}{D_T} \cdot \frac{\rho_{\text{п}}^T}{\rho_{\text{п}}} \cdot \frac{\mu}{\mu_T} \cdot \frac{W_T}{W}} = 3,65 \cdot \sqrt{\frac{0,8}{0,6} \cdot \frac{1930}{1150} \cdot 1 \cdot \frac{3,5}{3,595}} = 5,38 \text{ мкм}$$

8. Визначення величини X (3.8) для часток розміром 23 мкм:

$$X_{23} = \frac{\lg\left(\frac{d_{pj}}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2\sigma_{\eta}^T + \lg^2\sigma_{\chi}}} = \frac{\lg\left(\frac{23}{5,38}\right)}{\sqrt{0,352^2 + 0,468^2}} = \frac{0,63}{0,571} = 1,105$$

За таблицею 3.8 $\Phi(X) = 0,8643$.

9. Визначення ефективності пиловловлювання (очищення) в циклоні (3.7) для часток розміром 23 мкм:

$$\eta_{23} = 50 \cdot [1 + \Phi(X)] = 50 \cdot (1 + 0,8643) = 93,22 \%$$

10. Для часток інших середніх діаметрів повторюється розрахунок пунктів 8 та 9, визначається ефективність пиловловлювання:

$$X_{18} = \frac{\lg\left(\frac{d_{pj}}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2\sigma_{\eta}^T + \lg^2\sigma_{\chi}}} = \frac{\lg\left(\frac{18}{5,38}\right)}{\sqrt{0,352^2 + 0,468^2}} = \frac{0,525}{0,571} = 0,92;$$

$$\eta_{18} = 50 \cdot [1 + \Phi(X)] = 50 \cdot (1 + 0,8212) = 91,06 \%;$$

$$X_{13} = \frac{\lg\left(\frac{d_{pj}}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2\sigma_{\eta}^T + \lg^2\sigma_{\chi}}} = \frac{\lg\left(\frac{13}{5,38}\right)}{\sqrt{0,352^2 + 0,468^2}} = \frac{0,383}{0,571} = 0,671;$$

$$\eta_{15} = 50 \cdot [1 + \Phi(X)] = 50 \cdot (1 + 0,7517) = 87,59 \%;$$

$$X_8 = \frac{\lg\left(\frac{d_{pj}}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2\sigma_{\eta}^T + \lg^2\sigma_{\chi}}} = \frac{\lg\left(\frac{8}{5,38}\right)}{\sqrt{0,352^2 + 0,468^2}} = \frac{0,172}{0,571} = 0,302;$$

$$\eta_8 = 50 \cdot [1 + \Phi(X)] = 50 \cdot (1 + 0,6179) = 80,9 \%;$$

$$X_3 = \frac{\lg\left(\frac{d_{pj}}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2\sigma_{\eta}^T + \lg^2\sigma_{\chi}}} = \frac{\lg\left(\frac{3}{5,38}\right)}{\sqrt{0,352^2 + 0,468^2}} = \frac{-0,254}{0,571} = -0,056;$$

$$\eta_3 = 50 \cdot [1 + \Phi(X)] = 50 \cdot (1 + 0,4052) = 70,26 \%$$

11. Визначення загальної ефективності циклону (3.10):

$$\eta_{\text{заг}} = \sum_{j=1}^n \eta_j \cdot m_j, = (70,26 \cdot 0,1) + (80,9 \cdot 0,25) +$$

$$+(87,59 \cdot 0,3) + (91,06 \cdot 0,25) + (93,22 \cdot 0,1) = 86 \%$$

12. Визначення викиду в атмосферу часток пилу (3.11):

$$P = 100 - \eta_{\text{заг}} = 100 - 86 = 14 \%$$

Висновок: взятий до розрахунку одиночний циклон дозволяє затримати 86% цементного пилу під час очистки, проектна ефективність циклону ЦН-11 складає 85-95%. Викиди пилу на виході з циклону становитимуть 14%. Таким чином, взятий до розрахунку циклон може бути застосованим для очищення пилогазової суміші, що утворюється під час розвантаження цементу з вагонів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні характеристики впливу промислового пилу на здоров'я працівників

Охорона праці – це система заходів та засобів, що спрямовані на збереження життя, здоров'я та працездатності людини під час трудової діяльності.

Якість повітря, яким ми дихаємо, опосередковано характеризує здоров'я людини [15,16]. З кожним вдихом запиленого повітря в організм людини потрапляє не тільки важливий кисень, а й цілий ряд супровідних елементів, які можуть як покращити стан здоров'я (іони йоду), так і значно погіршити його (токсичні гази, пилюка, важкі метали). Від хімічного складу повітряної суміші залежить його біологічна активність, яка по різному впливає на організм людини: токсичні, подразнювальні та інші.

Оскільки повітря сучасного міста представляє собою складну газопилову суміш [17], всі компоненти якої можуть без перешкод взаємодіяти між собою, то необхідно знати початковий хімічний склад елементів, які викидаються в повітря, для прогнозування можливих взаємодій з навколишнім середовищем. Одним із компонентів забруднення повітря є цемент (а саме, цементний пил), який виробляється у великих обсягах і використовується у різних галузях промислового та житлового будівництва [18].

Найбільш поширеним несприятливим чинником виробничого середовища є пил. Численні технологічні процеси і операції в промисловості супроводжуються утворенням і виділенням пилу [19].

Промисловий пил являє собою аеродисперсну систему (аерозоль), у якій дисперсійним середовищем є повітря, а дисперсною

фазою виступають тверді частинки пилу. Залежно від походження, виділяють два типи аерозолів: дезінтеграційні та конденсаційні.

Аерозолі дезінтеграції виникають у результаті механічного дроблення твердих матеріалів, унаслідок чого утворюються частинки різного розміру і неправильної форми (здебільшого, у вигляді уламків). Аерозолі конденсації, у свою чергу, утворюються з парів металів, які під час охолодження переходять у тверду фазу, створюючи значно дрібніші частинки порівняно з аерозолями дезінтеграції.

Промисловість будівельних матеріалів значною мірою пов'язана з такими технологічними процесами, як дроблення, помел, змішування і транспортування пилоподібної сировини та кінцевої продукції (зокрема, цементу, піску, щебеню та інших матеріалів). Така діяльність супроводжується виділенням пилу, який може становити загрозу для здоров'я працівників залежно від його властивостей. Зокрема, промисловий пил здатний спричиняти професійні захворювання легень, ураження очей і шкіри, а також виступати причиною гострих або хронічних токсичних впливів.

При аналізі токсичних властивостей пилу необхідно враховувати кілька основних параметрів, таких як хімічний склад частинок, їх полярність, розчинність, форма, а також ступінь дисперсності.

Одним із ключових факторів є хімічний склад пилу. Залежно від його компонентів пил може чинити фіброгенну, подразнювальну, токсичну або алергенну дію на організм. З точки зору професійних захворювань легень особливе значення має мінералогічний склад пилу, передусім наявність у ньому двоокису кремнію.

Серед сполук цементного пилу, представлених у таблиці 1.1 кваліфікаційної роботи, двоокис кремнію відіграє важливу роль через свої фіброгенні властивості. Інтенсивність цього впливу залежить від структури кристалічної решітки: найбільш агресивними вважаються форми кремнію, отримані внаслідок термічної обробки, конденсації та

рекристалізації (наприклад, тридиміт і кристобаліт). Кристалічний кремнезем також володіє суттєвою фіброгенністю, хоч і меншою порівняно з вищезазначеними модифікаціями.

Крім того, хімічна активність пилу залежить від загальної площі поверхні його частинок. Такі термічно оброблені матеріали, як керамзит, вермікуліт і перліт, завдяки більшій загальній поверхні демонструють вираженішу фіброгенну активність у порівнянні з необробленими сировинними матеріалами, що використовуються для їх виробництва.

Іноді навіть незначна домішка певних хімічно активних сполук здатна змінити характер і силу впливу пилу. Наприклад, присутність шестивалентного хрому в цементі навіть у концентрації до 0,001% може значно підвищити його алергенні властивості.

Розчинність пилу відіграє ключову роль. Залежно від хімічного складу та фізичних характеристик, розчинний пил відразу після проникнення до організму може виявляти агресивну дію або, навпаки, швидко виводитися без викликання суттєвих пошкоджень. Нерозчинний пил, своєю чергою, має інші механізми впливу на організм.

Форма частинок пилу також суттєво впливає на взаємодію із людським організмом та стабільність аерозолю. Частинки сферичної форми легше випадають з повітря, швидше проникають у дихальні шляхи і легше поглинаються фагоцитами. У той час частинки неправильної, пласкої, стрижнеподібної чи спіральної форми довше утримуються в повітрі й важче досягають глибоких ділянок легень.

Міра дисперсності пилу також має вирішальне значення. Аерозолі, що складаються з зважених у газовій фазі частинок, характеризуються своїм розміром. Дисперсність виробничого пилу є важливим гігієнічним фактором, адже розмір, щільність і форма частинок визначають їх час перебування в повітрі та характер впливу на дихальну систему.

Твердість частинок має менший вплив на розвиток патологій. Проте розміри утворених аерозолів залежать від твердості вихідної

речовини: чим твердіша речовина, тим вищий рівень дисперсності, а також більша кількість частинок у одиниці об'єму. Дрібні аерозолі та волокнисті частинки схильні швидше злипатися за наявності водяних парів у повітрі.

На стабільність частинок у повітрі значною мірою впливає щільність пилу. Зі зростанням густини речовини при однаковій дисперсності швидкість осідання частинок збільшується.

Визначальними факторами впливу виробничого пилу також є доза впливу та тривалість контакту. До фізичних виробничих чинників, що мають переважно фіброгенну дію, належать шкідливі речовини у вигляді аерозолів (пилу). Такі аерозолі подразнюють слизові оболонки дихальних шляхів і можуть проникати в легені, провокуючи розвиток сполучної тканини в зоні повітрообміну та утворення фіброзних рубців.

Фіброгенна дія цих речовин призводить до виникнення професійних захворювань пилової етіології, таких як силікоз, азбестоз чи пиловий бронхіт. Такі захворювання входять до найпоширеніших категорій професійних недуг.

Особливо небезпечним у розвитку пневмоконіозів є нерозчинний промисловий пил, до складу якого входять двоокис кремнію, силікати, пил металів і сплавів або їхні змішані варіанти. Вдихання цього пилу сприяє його тривалому затриманню в глибоких відділах дихальної системи та пошкодженню дихальних шляхів і легеневої тканини. Вид патологічних змін у легенях значною мірою залежить від сумісного впливу пилу та інших шкідливих виробничих факторів.

Домішки токсичних речовин, таких як фтор, свинець, марганець, нікель, пари кислот, оксиди азоту й сірководень, а також важка фізична праця та переохолодження підвищують ризик виникнення пневмоконіозу та ускладнюють його перебіг. Під час гігієнічної оцінки пилового фактора враховуються всі частинки пилу, зважені в повітрі (мг/м^3), незалежно від їх

розмірів, оскільки різні за величиною частинки можуть затримуватися в органах дихання.

Для визначення ступеня запиленості використовуються максимально разові концентрації пилу за масою, що відображають найвищі показники під час найбільш несприятливих періодів технологічного процесу або виробничих операцій. Однак при оцінці пилового навантаження, тобто дози пилу, яка потрапляє в організм за певний проміжок часу, слід орієнтуватися не лише на максимально разові концентрації, але й на середньозмінні величини. За професійного контакту з аерозолями переважно фіброгенної дії (АПФД) основним нормованим показником є середньозмінна концентрація.

Врахування пилового навантаження дозволяє прогнозувати інтенсивність розвитку пилових патологій. На підставі дослідження фіброгенних властивостей різних видів пилу виділяють три класи фіброгенної небезпеки й встановлюють відповідні гранично допустимі концентрації (ГДК).

До першого класу (особливо фіброгенний пил) належать пилові частинки з ГДК 1-2 мг/м³. Це «чистий» діоксид кремнію й аерозолі, які містять понад 10% вільного двоокису кремнію або більше 10% азбесту. Контакт із цими речовинами може викликати прогресуючий вузликосий пневмокніоз (кремнеземний пил) або виражений дифузний і сітчастий пневмосклероз із ураженням плеври (азбестовий пил).

Другий клас (помірно фіброгенний пил) включає речовини з ГДК 4 - 6 мг/м³. Сюди входять аерозолі, у складі яких міститься від 2 до 10% вільного двоокису кремнію, сплав кремнію і міді, тальк, скловолокно, глина, апатит, цемент, електрокорунд, карбіди кремнію й бору, барит, дуніти, форстерит тощо. Цей тип пилу спричиняє повільний розвиток пневмокніозу з помірним дифузним пневмосклерозом. Характерною ознакою є формування клітинно-пилових вогнищ і незначна поява колагенових волокон або дрібних вузликів-гранул.

До третього класу належить слабо фіброгенний пил із ГДК 8-10 мг/м³. Ця група включає кам'яне вугілля, асбестобакеліт (волокніт), асбесторезину, магнезит, природні й синтетичні алмази, діоксид титану, тантал із його оксидами, ельбор і подібні речовини. Дія цього типу пилу призводить до формування незначного дифузного пневмосклерозу з локалізацією біля бронхів і судин, супроводжуваного утворенням клітинно-пилових вогнищ і запальних змін у бронхах.

Ключовим показником оцінки ступеня впливу АПФД на органи дихання є саме пилове навантаження. Його слід застосовувати в разі перевищення середньозмінних ГДК для фіброгенного пилу.

4.2 Особливості нормування аерозолів переважно фіброгенної дії (АПФД)

Пилове навантаження на органи дихання працівника (або колективу працівників, що виконують однотипну роботу за ідентичних умов) являє собою кількісну характеристику сумарної дози пилу, що потрапляє в дихальні шляхи за весь період професійної діяльності, фактичної чи прогнозованої. Цей показник є важливим критерієм для оцінювання ризиків впливу пилу на здоров'я працівників та формується з використанням розрахункових методів.

Його визначення базується на врахуванні наступних параметрів: середньо-змінних концентрацій аерозольних часток фракції вдихання (АПФД) у повітрі робочої зони, обсягу легеневої вентиляції, що залежить від інтенсивності виконуваної роботи, а також тривалості професійного контакту працівника з пиловими частками:

$$PH = KNTG \quad (4.1)$$

де K – фактична середньо змінна концентрація пилу в зоні дихання працівника, $\text{мг}/\text{м}^3$;

N – число робочих змін, що відпрацьовано у календарному році в умовах дії АПФД;

T – кількість років контакту з АПФД;

G – об'єм легеневої вентиляції за зміну, м^3 .

При розрахунку використовуємо усереднені величини об'ємів легеневої вентиляції [19], які залежать від рівня енерговитрат і, відповідно, категорій робіт:

- для робіт категорії Ia – Ib об'єм легеневої вентиляції за зміну 4 м^3 ;
- для робіт категорії IIa – IIб – 7 м^3 ;
- для робіт категорії III – 10 м^3 .

Згідно з формулою 4.5 виконується обчислення значення контрольного пилового навантаження (КПН). Контрольне пилове навантаження використовується для визначення допустимості фактичних пилових навантажень для окремих видів пилу. Для проведення обчислень КПН необхідно врахувати наступні вихідні дані:

K = ГДК для цементного пилу;

T = 25 років стажу роботи;

N = 240 робочих змін в році;

об'єму легеневої вентиляції за зміну $G = 10 \text{ м}^3$ (роботи категорії III – важкі).

Пил при цьому підрозділяємо на категорії:

- високо – і помірно фіброгенні АПФД с ГДК $\leq 2 \text{ мг}/\text{м}^3$;
- слабо фіброгенні АПФД с ГДК $> 2 \text{ мг}/\text{м}^3$;
- пил, що містить природні (азбест, цеоліт) і штучні (скляні, керамічні, вуглецеві і ін.) мінеральні волокна.

За цих умов КПН дорівнює:

- високо і помірно фіброгенного пилу (при ГДК = $2 \text{ мг}/\text{м}^3$) – 120 г;
- для слабо фіброгенного пилу (при ГДК = $10 \text{ мг}/\text{м}^3$) – 600 г;

- для азбест вміщеного пилу (при $ГДК_{с.з} = 1 \text{ мг/м}^3$) – 60 г.

Залежно від поставленої задачі, контрольне пилове навантаження (КПН) може бути обчислене як для окремого працівника, так і для професійної групи, враховуючи різні специфічні виробничі умови.

КПН при впливі аерозолів промислового фізико-хімічного дієвого складу (АПФД) використовується для оцінки можливості продовження роботи в певних умовах, а також для визначення допустимого стажу роботи для нових співробітників.

Якщо фактичний показник пилового навантаження (ПН) не перевищує КПН, це підтверджує можливість подальшої роботи в зазначених умовах. У випадку перевищення контрольного пилового навантаження необхідно визначити максимально дозволений стаж роботи (T_1), щоб ПН залишався в межах встановлених нормативів.

Рекомендується розраховувати КПН на основі середнього трудового стажу, який становить 25 років. Якщо ж тривалість трудової діяльності перевищує цей період, розрахунки слід адаптувати відповідно до фактичного стажу роботи.

$$T_1 = КПН_{25} / (KNG), \quad (4.2)$$

де окрім тих же позначень, що і у формулі (4.1):

- T_1 – допустимий стаж роботи у даних умовах;
- $КПН_{25}$ – контрольне пилове навантаження за 25 років роботи за умовах, при яких виконується ГДК.

При цьому значення фактичної середньо змінної концентрації пилу K приймається як середньо змінна величина за всі періоди роботи:

$$K = (K_1t_1 + K_2t_2 + \dots + K_nt_n) / \sum t_i, \quad (4.3)$$

де $K_1 \dots K_n$ – фактичні середньо змінні концентрації за окремі періоди роботи;

$t_i; t_1 \dots t_n$ – періоди роботи, за яких фактичні концентрації пилу були постійні.

У разі змін рівнів запиленості повітря у робочій зоні або категорії виконуваних робіт (залежно від об'єму легеневої вентиляції за зміну), фактичне пилове навантаження розраховується як сума значень за всі періоди, коли ці параметри залишалися незмінними. При визначенні контрольного пилового навантаження також враховується зміна категорій робіт і відповідних їм значень G у різні часові проміжки.

Контрольне пилове навантаження (КПН) разом із гранично допустимою концентрацією (ГДК) використовується для оцінки класу умов праці. Клас умов і ступінь шкідливості у разі професійного контакту з аерозолями переважно фіброгенної дії (АПФД) встановлюються на підставі фактичних середньозмінних концентрацій АПФД та співвідношення цих значень до ГДК.

Головним критерієм оцінки впливу АПФД на органи дихання працівника є пилове навантаження (ПН). Якщо рівень середньозмінної ГДК фіброгенного пилу перевищено, обов'язковим стає розрахунок пилового навантаження. Отримане значення фактичного ПН співставляють із величиною контрольного пилового навантаження, яке визначається як показник, що формується за умови дотримання середньозмінної ГДК протягом усього періоду професійного впливу.

За відповідності між фактичним і контрольним пиловим навантаженням умови праці вважаються допустимими, що засвідчує безпечність виконання роботи в аналогічних умовах. Ступінь перевищення контрольного пилового навантаження визначає клас шкідливості умов праці для конкретного чинника (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Класи умов праці залежно від змісту в повітрі робочої зони АПФД (перевищення ГДК, у рази)

Шкідливі речовини	Клас умов праці					
	Допустимий	Шкідливий				Небезпечний
Речовини, переважно фіброгенної дії	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
	\leq ПДК	1.1–2.0	2.1–5.0	5.1–10.0	> 10.0	

У разі перевищення контрольних пилових навантажень (КПН) доцільним є застосування принципу «захисту часом». Цей підхід передбачає впровадження обмежень на тривалість професійної діяльності, визначаючи допустимий стаж роботи (T_1) у відповідних умовах.

4.3 Розрахунок пилового навантаження на працівників

Проведемо розрахунок пилового навантаження на органи дихання розвантажувача в транспортно-сировинному цеху, що пропрацював до упровадження установки очистки газу у контакт з шкідливим чинником (цементний пил) 7 років. Концентрація середньо змінна за цей період склала $31,5 \text{ мг/м}^3$. Кількість змін в році – 125.

Визначимо фактичне пилове навантаження, встановимо клас шкідливості умов праці, розрахуємо стаж роботи в даних умовах.

1) Визначаємо фактичне пилове навантаження:

$$ПН = KNTG, \quad (4.4)$$

де K – фактична середньо змінна концентрація пилу в зоні дихання працівника, $21,5 \text{ мг/м}^3$ (початкові дані);

N – число робочих змін, що відпрацьовані у календарному році в умовах дії АПФД, 125 змін у році (початкові дані);

T – кількість років контакту з АПФД, 7 років (початкові дані);

G – об'єм легеневої вентиляції за зміну, 7 м³, (категорія робіт II) 10⁻³

– переклад міліграм у грами.

$$\text{ПН} = 21,5 \cdot 125 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 131,69 \text{ г}$$

2) Визначаємо контрольне пилове навантаження:

$$\text{КПН} = \text{ГДК}_{\text{с.з}} \text{ NTG}, \quad (4.5)$$

де ГДК_{с.з} – середньо змінна гранично допустима концентрація цементного пилу складає 6 мг/м³.

$$\text{КПН} = 6 \cdot 125 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 36,75 \text{ г}$$

3) Розраховуємо величину перевищення ПН/ КПН:

$$\text{ПН/КПН} = 131,69 / 36,75 = 3,59$$

Таким чином, фактичне пилове навантаження перевищує контрольне пилове навантаження у 3,59 раз. Відповідно, клас умов праці розвантажувача вагонів у транспортно-сировинному цеху – шкідливий 3.2 (таблиця 4.1).

4) Визначаємо контрольне пилове навантаження за 25 років роботи (КПН₂₅):

$$\text{КПН}_{25} = 6 \cdot 125 \cdot 25 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 131,25 \text{ г}$$

5) Визначаємо допустимий стаж роботи в даних умовах:

$$T_1 = KPH_{25} / (KNG), \quad (4.6)$$

$$T_1 = 131,25/21,5 \cdot 125 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 5,34 \text{ роки}$$

Таким чином, в даних умовах праці працівник, виконуючий роботи з розвантаження вагонів з цементом в транспортно-сировинному цеху, може працювати не більш 5,34 роки.

При впровадженні запропонованих в роботі заходів та зниженні рівню запиленості у повітрі робочої зони розвантажувача вагонів у транспортно-сировинному цеху до ГДК (6 мг/м³) прогнозований безпечний стаж його роботи, як що застосовувати формулу для розрахунку ПН, збільшиться і складе 25 років.

4.4. Вимоги охорони праці на робочому місці

Для скорочення об'єму виділення цементного пилу в атмосферу та робочий простір в кваліфікаційній роботі запропоновано заходи: укриття місця з інтенсивним пиловиділенням та встановлення установки очистки газу у пункті розвантаження на складі цементу, забезпечивши відведення забрудненого повітря з пункту до апарату очистки газу та викид очищеного повітря у атмосферу.

Комплексне впровадження зазначених заходів у взаємозв'язку дозволить зменшити обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, а також забезпечити зниження їх концентрації на робочих місцях працівників заводу до рівнів, визначених гранично допустимими концентраціями (ГДК).

Працівники, які обслуговують пункт розвантаження цементу для захисту від впливу на них наявних на робочих місцях шкідливих та небезпечних виробничих факторів під час виконання робіт

використовують індивідуальні засоби захисту: протипилові респіратори, захисні окуляри, спеціальний одяг та взуття, захисну каску [18,19].

Для боротьби з утворенням промислового пилу необхідно впроваджувати різноманітні заходи [18], до яких належать:

- удосконалення конструкції обладнання (герметизація устаткування тощо);
- заміна фізично зношеного і морально застарілого устаткування на нове високопродуктивне та екологічно безпечне;
- своєчасний і якісний ремонт технологічного устаткування;
- влаштування місцевої вентиляції з очисткою газоповітряної суміші;
- використання індивідуальних засобів захисту організму (спецодяг, окуляри, маски, протигази та респіратори).

Для забезпечення вимог охорони праці на бетонних підприємствах необхідно суворо дотримуватися встановлених правил та рекомендацій. Основним завданням у цьому контексті є створення умов, які гарантують безпеку життєдіяльності працівників під час виконання ними своїх професійних обов'язків.

Організація трудових процесів повинна передбачати як ефективний захист здоров'я співробітників, так і дотримання екологічних стандартів. Для досягнення цих цілей варто реалізовувати такі заходи:

- проведення систематичного моніторингу робочих місць на відповідність вимогам нормативно-правових актів у сфері охорони праці. Це включає організацію попередніх та регулярних медичних оглядів працівників, а також проведення інструктажів щодо безпечного виконання робочих завдань.
- забезпечення своєчасного технічного обслуговування та ремонту обладнання з метою підтримання його безперебійної та безпечної

роботи. Це дозволяє знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та інших небезпечних інцидентів.

- регулярне проведення навчальних заходів і перевірки знань персоналу з питань охорони праці. Такий підхід сприяє підвищенню їхньої обізнаності про потенційні загрози та правила безпечної поведінки в умовах виробництва.

Реалізація зазначених заходів сприятиме формуванню безпечного робочого середовища, що відповідає сучасним стандартам охорони праці та екології, водночас мінімізуючи ризики для здоров'я і життя працівників.

Національні нормативні документи України, які регулюють питання охорони праці на заводах з виробництва бетону, включають:

1. Кодекс законів про працю України [22];
2. Закон України "Про охорону праці" [23];
3. Наказ Міністерства охорони здоров'я України "Про затвердження Правил охорони праці для працівників бетонних і залізобетонних заводів" (№ 375 від 28.12.2000) [24].

На підприємствах, що спеціалізуються на виробництві бетону, діють внутрішні нормативні акти, які регулюють питання охорони праці. Робота на таких підприємствах завжди пов'язана з певними ризиками та небезпеками, зумовленими специфікою виробничих процесів і використанням спеціалізованого обладнання. Зокрема:

- 1) у виробничих цехах спостерігається підвищений рівень запиленості, що негативно впливає на здоров'я працівників;
- 2) на бетонних заводах використовують велике і складне в обслуговуванні обладнання, зокрема пневматичні насоси, бетонозмішувальні установки, конвеєрні лінії тощо.

Неправильне використання обладнання та інструменту або недостатня організація робочих місць можуть призвести до виробничих травм та розвитку професійних захворювань.

3) виробничі процеси на бетонному заводі можуть супроводжуватися значними фізичними зусиллями, включаючи підйом важких вантажів, ручну обробку продукції та роботу в умовах екстремальних температур зовнішнього середовища. Це здатне призводити до перенапруження м'язів і суглобів, виникнення механічних травм або термічних пошкоджень.

На підприємствах із виробництва бетону важливо суворо дотримуватись заходів безпеки та мати чіткий алгоритм дій для управління небезпечними ситуаціями. Нижче описані ключові заходи для попередження надзвичайних обставин і належної реакції у разі їх виникнення.

Передусім слід забезпечити регулярну перевірку та використання засобів індивідуального захисту. Працівники зобов'язані завжди користуватись такими захисними елементами, як окуляри, респіратори, спеціальний одяг і взуття. Це запобігатиме впливу потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробництва.

Окрім цього, необхідно розробити і впровадити план дій на випадок надзвичайної ситуації, наприклад, пожежі. У разі її виникнення працівники мають негайно повідомити пожежну службу та активувати систему сигналізації. Для власної безпеки вони повинні оперативно покинути небезпечну зону, за можливості скористатися первинними засобами пожежогасіння для локалізації вогнища, уникати контактів із легкозаймистими матеріалами та іншими джерелами загоряння.

Також працівники мають бути добре поінформовані про процедури евакуації. Вони повинні знати маршрути виходу з приміщення, місця збору та правила поведінки під час евакуації.

З огляду на всі ризики та можливі небезпечні ситуації у виробничому процесі, на бетонних заводах необхідно впроваджувати ефективну систему охорони праці для створення безпечних умов роботи.

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

5.1 Розрахунок кошторису обладнання

Кошторис витрат на встановлення системи очищення газу, яка включає циклон, вентилятор, газоходи та укриття, визначається за допомогою наступної формули:

$$S_{об} = Ц \cdot (1 + T_T + T_c + T_H) \quad (5.1)$$

де $S_{об}$ – кошторис обладнання, грн.;

Ц – ціна обладнання:

- вартість циклону складає 86 020 грн;
- вартість вентилятору радіального пилового – 31 500 грн;
- вартість гнучкої вставки прямокутної – 1 200 грн;
- вартість шлюзового затвору – 45 235 грн;
- вартість пускача електромагнітного – 2 094 грн;
- вартість повітропроводу діаметром 400 мм – 1042 грн за 1 метр, потрібно 25 метрів (25 x 1042 = 26 050 грн);
- вартість тентових промислових штор – 600 грн за 1 м², потрібно 70 метрів (70 x 600 = 42 000 грн);
- вартість системи управління вентиляційними шторами з ручним редуктором – 6 537 грн.

T_T – коефіцієнт, який залежить від складності обладнання, дорівнює 0,1;

T – коефіцієнт, який залежить від маси і складності обладнання, дорівнює 0,08;

T_H – коефіцієнт, що встановлюється на основі кошторису монтажних робіт, який визначається по ціннику на монтаж обладнання, становить 0,15.

$$S_{об} = (86\,020 + 31\,500 + 1\,200 + 45\,235 + 2\,094 + 26\,050 + 42\,000 + 6\,537) \cdot (1 + 0,1 + 0,08 + 0,15) = 320\,046 \text{ грн.}$$

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати на обслуговування установки очистки газу обчислюються за формулою:

$$Z_{експл.} = Z_e + Z_{о.п} + Z_H + Z_a, \text{ тис. грн/рік} \quad (5.2)$$

Річні витрати електроенергії при експлуатації газоочисного обладнання визначаються за формулою:

$$P_{об} = M_{об} \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 \cdot K_{и}, \text{ кВт/рік} \quad (5.3)$$

де $M_{об}$ – потужність газоочисного обладнання, кВт/год, $M_{об} = 11 \text{ кВт/ч}$

N_1 – тривалість зміни, $N_1 = 8$ годин,

N_2 – кількість змін, $N_2 = 1$ зміна,

N_3 – кількість днів експлуатації у році, $N_3 = 125$,

$K_{и}$ – коефіцієнт використання робочого часу, $K_{и} = 0,75$.

$$P_{об} = 11 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 125 \cdot 0,75 = 8\,250 \text{ кВт/год.}$$

Витрати на оплату електроенергії складають:

$$Z_e = P_{об} \cdot C_e, \text{ тис. грн.} \quad (5.4)$$

де C_e – вартість електроенергії, грн/кВт, $C_e = 7,28$ грн/кВт

$$Z_e = 8250 \cdot 7,28 = 60\,060 \text{ грн/рік.}$$

Річні витрати на оплату праці:

$$Z_{оп} = K_{оп} \cdot CT_{зп} \cdot 12, \text{ грн /рік} \quad (5.5)$$

де $K_{оп}$ - кількість обслуговуючого персоналу,

$CT_{зп}$ - ставка заробітної платні, $CT_{зп} = 15\,000$ грн.

Фонд оплати праці:

$$Z_{оп} = 1 \cdot 15\,000 \cdot 12 = 180\,000 \text{ грн/рік.}$$

Єдиний соціальний внесок визначаємо за формулою:

$$Z_n = Z_{о.т} \cdot \Phi_{от}, \text{ тис. грн./рік} \quad (5.6)$$

Єдиний соціальний внесок:

$$Z_n = 600\,000 \cdot 0,22 = 39\,600 \text{ грн/рік}$$

Амортизаційні відрахування на газоочисне обладнання складає:

$$Z_a = S_{об} \cdot A_r, \text{ тис. грн/рік,} \quad (5.7)$$

де A_r - річні амортизаційні відрахування, $A_r = 24\%$

$$Z_a = 320\,046 \cdot 0,24 = 76\,811 \text{ грн/рік.}$$

Таким чином, сума експлуатаційних витрат на утримання газоочисного обладнання складає:

$$Z_{\text{експл}} = Z_e + Z_{\text{о.п}} + Z_n + Z_a \quad (5.8)$$

$$Z_{\text{експл}} = 60\,060 + 180\,000 + 39\,600 + 76\,811 = 356\,471 \text{ грн/рік}$$

Результати розрахунків наведені в табл. 5.1.

5.3 Розрахунок економії за викиди пилу

Економія податків за викиди пилу після встановлення установки очистки газу визначається за формулою:

$$E = H \cdot \Delta M \quad (5.9)$$

H – ставка податку за викид забруднюючих речовин, грн/т;

$H = 96,99$ грн/т;

ΔM – маса вловленого циклоном пилу – 3,11 т/рік;

$$E = 96,99 \cdot 3,11 = 305 \text{ грн/рік}$$

Термін окупності обладнання визначимо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = S_{\text{об}} / (E+C), \quad (5.10)$$

де C – вартість повернутого у виробництво цементу, 6 500 грн/т

$$T_{\text{ок}} = 320\,046 / (305 + 20\,215) = 15,6 \text{ років}$$

Зведені техніко-економічні показники від встановлення пиловловлюючого обладнання представлені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Зведені техніко-економічні показники від встановлення пиловловлюючого обладнання

Показник	Значення
1. Балансова вартість газоочисного обладнання, тис. грн	320,046
2. Експлуатаційні витрати, тис. грн/рік в т.ч.	356,471
– витрати на оплату електроенергії	60,06
– витрати на оплату праці	180,0
– єдиний соціальний внесок	39,6
– амортизаційні відрахування	76,811
3. Економія податків за забруднення навколишнього середовища та вартість уловленого цементу, який повернуто у виробництво, тис. грн/рік.	20,52
Термін окупності, роки	15,6

Отже, впровадження системи уловлення та очистки пилових викидів в пункту розвантаження цементу в умовах ТОВ «Бетон Комплекс» окупиться через 15,6 років. Крім того, впровадження технічних рішень з уловлення цементного пилу на розвантажувальному пункті складу дозволить зменшити концентрацію забруднюючих речовин на робочих місцях та суттєво скоротить об'єм викиду цементного пилу у атмосферне повітря.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто та успішно вирішено актуальне науково-практичне завдання, зосереджене на підвищенні рівня екологічної безпеки підприємства з виробництва бетону та бетонних виробів. Це досягнуто завдяки розробці і впровадженню низки заходів, серед яких облаштування укриття для пункту розвантаження цементу на складі та встановлення системи очистки забрудненого повітря перед його викидом в атмосферу. Запропоновані заходи спрямовані на мінімізацію техногенного впливу на довкілля та зниження концентрації цементного пилу на робочих місцях працівників.

На основі проведеного дослідження сформульовано низку висновків, які узагальнюють отримані результати.

1. Основними джерелами викидів пилу на заводі є операції, пов'язані з прийманням сировинних матеріалів. Найбільш проблемним та небезпечним об'єктом вважається пункт розвантаження цементу, при експлуатації якого не передбачено виконання заходів, спрямованих на мінімізацію викидів цементного пилу в атмосферне повітря.

2. Методи очищення відходів, утворених стаціонарними джерелами газових викидів, класифікуються на організаційні та технічні заходи, спрямовані на запобігання або зменшення обсягу забруднювальних речовин, що потрапляють в атмосферне повітря. Технічні заходи орієнтовані на очищення газоповітряного потоку, тоді як організаційні зосереджені на попередженні викидів на етапі їх утворення. Технічні методи очищення викидів забруднюючих речовин з атмосферного повітря класифікуються наступним чином: хімічні; фізичні; механічні; фізико-хімічні; комбіновані.

Для розробки ефективної технології очищення пилогазових потоків необхідно враховувати ключові властивості пилу.

3. З метою очищення газів від забруднюючих речовин використовують два основних методи: фізико-механічний та фізико-хімічний. Для сухого способу очищення застосовуються переважно фізико-механічні методи, при яких чищення газу відбувається за рахунок гравітаційного, відцентрового, інерційного осадження, седиментації, осадження під час контакту з фільтрувальними матеріалами чи впливу електричного поля. Найбільш ефективними системами очистки забрудненого повітря є рукавні- та електрофільтри, але за рахунок простої конструкції, високої надійності і відносно невеликими витратами на виготовлення та обслуговування найбільш оптимальним рішенням залишається використання циклонів.

4. До впровадження на пункті розвантаження цементу обрано заходи уловлення та очищення забрудненого повітря, а саме: огороження / закриття дверима чи механізованими шторами «тунелю» пункту розвантаження цементу з важкого повітронепроникного матеріалу забезпечивши відсутність витоку забруднюючих речовин за його периметр, розбавлення викидів цементного пилу чистим повітрям під час здійснення операцій, що супроводжуються утворенням пилу та . монтаж системи уловлення цементного пилу, який утворюється під час розвантаження вагонів і піднімається вгору над вагоном, шляхом встановлення металевих коробів з отворами по його довжині для забору та відведення запиленого повітря на очищення до очисного апарату. Після очистки повітря буде викидатися в атмосферу, а уловлений цементний пил направлятися на склад цементу.

5. Цементний пил відноситься до другого класу фіброгенної небезпеки – помірно фіброгенний пил, який включає речовини з ГДК 4 - 6 мг/м³ та аерозолі якого містять від 2 до 10% вільного двоокису кремнію. Фіброгенна дія пилу призводить до виникнення професійних захворювань пилової етіології, таких як силікоз чи пиловий бронхіт.

Проведено розрахунок пилового навантаження на органи дихання розвантажувача в транспортно-сировинному цеху та встановлено, що в даних умовах праці працівник, виконуючий роботи з розвантаження вагонів з цементом, може працювати не більш 5,34 роки.

Працівники, які обслуговують пункт розвантаження цементу для захисту від впливу на них наявних на робочих місцях шкідливих та небезпечних виробничих факторів під час виконання робіт використовують індивідуальні засоби захисту: протипилові респіратори, захисні окуляри, спеціальний одяг та взуття, захисну каску.

6. Зроблено кошторис витрат на встановлення системи очищення газу, яка включає циклон, вентилятор, газоходи та укриття. Обчислено експлуатаційні витрати на обслуговування установки очистки газу. Виконано розрахунок економії за викиди пилу.

Впровадження системи уловлення та очистки пилових викидів в умовах ТОВ «Бетон Комплекс» окупиться через 15,6 років. Крім того, впровадження технічних рішень з уловлення цементного пилу на розвантажувальному пункті складу дозволить зменшити концентрацію забруднюючих речовин на робочих місцях та суттєво скоротить об'єм викиду цементного пилу у атмосферне повітря.

7. Запропоновані технічні рішення є універсальними й можуть бути впроваджені на інших пунктах розвантаження сировини з залізничних вагонів. Їх також доцільно рекомендувати для використання на всіх підприємствах із подібною технологією розвантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Edited by Peter Domone and John Illston. Construction Materials. Their nature and behavior : Fourth edition, 2010. 584 с.
2. Склад, структура і властивості цементних бетонів / Г. І. Горчаков та ін.. – Мінск : Стройиздат, 1976. 145 с.
3. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Бетони і будівельні розчини. Україна : Вид. Основа, 2008. 36 с.
4. Основин В. Н., Шуляков Л. В. Строительные материалы и изделия : учеб. пособие / 2-е изд. Минск : Выш. Шк., 2009. 108 с.
5. Крамарчук А. П., Ільницький Б. М., Бобало Т. В. Будівельні конструкції. Україна : видав. Львівська політехніка, 2016. 54 с.
6. Лучко Й. Й., Конончук О. П. Конспект лекцій з дисципліни «Залізобетонні та кам'яні конструкції» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної і заочної форми навчання. Частина 1 / Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. 221 с.
7. Лі Ф. М. Хімія цементу і бетону. М.: Стройиздат, 1961. 642 с.
8. ДСТУ Б В.2.7-215:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Правила підбору складу. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2009. 18 с.
9. ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. 109 с.
10. Про охорону атмосферного повітря: Закон України від 16.10.92 № 2708-XII: веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 17.01.2024).
11. Довідковий документ з найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ) для виробництва цементу, вапна та оксиду магнію. Директива щодо промислових викидів 2010/75/EU (Комплексне

запобігання та контроль забруднень): Фрауке Шорхт (Frauke Schorcht та ін., 2013. 479 с.

12. Учасники проектів Вікімедіа. Мікрометр – Вікіпедія.

Вікіпедія. URL:

[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80#:~:text=%D0%9C%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%CC%81%D1%82%D1%80%2C%20%D0%B0%D0%B1%D0%BE%20%D0%BC%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BD%20\(%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%3A,%D1%8F%D0%BA%D0%B0%20%D0%B4%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%B2%D0%BD%D1%8E%D1%94%2010%E2%88%926%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80#:~:text=%D0%9C%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%CC%81%D1%82%D1%80%2C%20%D0%B0%D0%B1%D0%BE%20%D0%BC%D1%96%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BD%20(%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%3A,%D1%8F%D0%BA%D0%B0%20%D0%B4%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%B2%D0%BD%D1%8E%D1%94%2010%E2%88%926%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B0). (дата звернення: 20.01.2025).

13. Типовой проект 409-29-61. Автоматизированный прирельсовый склад цемента. Центральный институт типового проектирования ГОССТРОЯ СССР КИЕВСКИЙ ФИЛИАЛ, Киев-57.

14. Ковров О. С., Бучавий Ю. В. Очистка газопилових викидів. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт студентами напряму підготовки 6.040106 Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2013. 50 с.

15. ГОСТ 17.2.4.06-90. Охрана природы. Атмосфера. Методы определения давления и температуры газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения. Введ. 1991-01-01. М. : Изд-во стандартов, 2000. 14 с.

16. Керб Л. П. Основи охорони праці : навч.-метод. посібн. К. : Вид-во КНЕУ, 2003. 215 с.

17. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л. : Изд-во "Химия", 1987. 264 с.

18. Мала гірнича енциклопедія / за ред. В.С. Білецького. Донецьк : Вид-во "Донбас", 2004. 640 с.
19. Методичні вказівки до практичного заняття 3 «Оцінка ступеню дії аерозолів переважно фіброгенної дії на органи дихання працівника» з дисципліни «Атестація робочих місць за умовами праці» для студентів спеціальності 263 «Цивільна безпека», спеціалізації «Охорона праці» / уклад. В. В Горбенко, О. О. Кузьменко, В. В. Макаренко, І. О. Мезенцева. Харків : НТУ «ХПІ», 2019. 20 с.
20. СанПіН 2.2.4.548-96 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до мікроклімату виробничих приміщень».
21. Соловійов О. І. Особливості гігієнічної оцінки умов праці робітників із різними формами організації трудової діяльності : український журнал з проблем медицини праці. Донецьк, 2010. 8 с.
22. Кодекс законів про працю України: Закон № 322-VIII від 10.12.71 ВВР, 1971, додаток до № 50, ст. 375: веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08#Text> (дата звернення: 19.01.2024).
23. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-XII: веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 19.01.2024).
24. Правила охорони праці для працівників бетонних і залізобетонних заводів: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 28.12.2000 № 375: веб-сайт. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=47001 (дата звернення: 19.01.2024).
25. Гігієна праці /А. М. Шевченко та ін. 2-ге вид. Київ : «Інфотекс», 2000. 228 с.
26. Наказ МОЗ України «Про затвердження Інструкції щодо визначення допустимих термінів роботи працюючих у шкідливих умовах» від 12 грудня 2006 року № 820.

27. Наказ МОЗ України «Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»» від 08.04.2014 року № 248.

28. Гігієна та екологія. / В. Г. Бардов та ін. Вінниця : Нова Книга, 2006. 191 с.

29. Основи екології : підручник для студ. вищих навч. закладів / В. Г. Бардов та ін. Вінниця : Нова книга, 2013. 424 с.

30. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л. : Изд-во «Химия», 1987. 264 с.

31. Керб Л. П. Основи охорони праці : навч.-метод. посібн. К. : Вид-во КНЕУ, 2003. 215 с.

32. Кайсер Л. А., Чехова Р. С. Цементи і їх раціональне використання при виробництві збірних залізобетонних виробів. М. : Стройиздат, 1972. 80 с.

Публікація за темою досліджень



International scientific conference

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

November 28–29, 2024

Volume 2



Продовження дод. А

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

Program Committee

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

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

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

Oleksandr MYRONENKO – Operations Director, METINVEST HOLDING LLC

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

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

Yuliya DANKOVA – Financial director, METINVEST HOLDING LLC

Svitlana ROMANOVA – Director of legal support, METINVEST HOLDING LLC

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

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

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

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

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

Marya VASILYEVA – General director, “Metinvest Sichstal” LLC

Gregory MASON – member of the Supervisory Board

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

Conference organizing committee

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

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

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

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

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

Pavlo SAHAIDA – DSc (Engineering), Associate Professor, Professor at the Department of Digital Technologies and Project-Analytical Solutions, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Oleksiy KOYFMAN – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Automation, Electrical and Robotic Systems, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Oleg KRUZHLYKO – DSc (Engineering), Professor, Professor at the Department of Labor Safety and Environmental Protection, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Dmytro PIKARENIA – DSc (Geology), Professor, Professor at the Department of Labor Safety and Environmental Protection, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Natalia HRUDKINA – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Natural Sciences and General Engineering, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Dmytro ZHERLITSYN – DSc (Economics), Professor, Professor at the Department of Digital Technologies and Project[1]Analytical Solutions, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Each author is responsible for content and formation of his/her materials.

The reference is mandatory in case of republishing or citation.

The prospects of using the constructed wetland for decontamination of the aquatic ecosystems from radiation pollution Yesipova N.B.	190
Overview of some of the results of the educational technical and environmental practice at a steelmaking enterprise Zhelezniak Ye.M., Repin M.V., Maksymova N.M.	193
Analysis of the system of standards and standards for environmental protection Zhelezniak Ye.M., Cheberichko Yu.I., Maksymova N.M.	195
Evaluation of the environmental efficiency of the improvement of the coke gas purification system from hydrogen sulfide at coke chemical production Kopiika I.V.	199
Development and implementation of an effective automated monitoring system within the sanitary protection zone in accordance with European standards Lobko M.R.	200
Aridization of the lands of Ukraine Minialilo D.O.	202
Overview of the factors of the influence of military actions on the environment Navolniev I.Yu., Maksymova N.M.	206
Impact of mining operations on the development of man-made fractures in crystalline rocks Pikarenia D.S., Orlinska O.V.	211
Ecological and economic feasibility study of the implementation of the ACS in transport for reduction of emissions into the atmosphere Pinchuk O.M., Maksymova N.M.	215
Normative and methodological aspects of metrological support for environmental monitoring of industrial emissions Podobnyi A.D., Cheberichko Yu.I., Maksymova N.M.	218
On the importance of cultivating environmental awareness among vocational education students Romashyna V.V., Davydov S.M.	220
Ways to reduce dust emissions at a concrete production plant Stepanenko O.M.	223

Впровадження ЄЗК в Україні є важливим фактором екологічної безпеки у регіоні та створює нові можливості для впровадження спільних проєктів у ході повоєнної відбудови. Формування екологічної свідомості серед здобувачів освіти у закладах професійно-технічної освіти є надзвичайно важливим напрямком і має кілька визначальних аспектів:

- сучасний світ все більше потребує фахівців, які зможуть працювати в умовах переходу до сталої економіки;
- екологічно свідомі фахівці будуть приймати обґрунтовані рішення, які враховують екологічні наслідки їхньої діяльності;
- виховання екологічної свідомості сприяє формуванню почуття соціальної відповідальності у майбутніх фахівців;
- фахівці з екологічною освітою більш затребувані на сучасному ринку праці;
- залучення молоді до вирішення екологічних проблем стимулює розвиток інноваційних технологій та пошук нових рішень;
- формування екологічної свідомості є одним із важливих кроків для досягнення глобальних цілей сталого розвитку, визначених ООН.

Отже, формування екологічної свідомості серед здобувачів професійно-технічної освіти є не лише необхідністю, а й інвестицією в майбутнє нашої країни.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-190>

WAYS TO REDUCE DUST EMISSIONS AT A CONCRETE PRODUCTION PLANT

ШЛЯХИ СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПИЛУ В АТМОСФЕРУ НА ПІДПРИЄМСТВІ З ВИРОБНИЦТВА БЕТОНУ

Stepanenko O.M.,
*Student (group 183-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Степаненко О.М.,
*студент гр. 183-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Зростання обсягів будівництва призводить до збільшення об'ємів виробництва бетону, що в свою чергу веде до більш інтенсивнішого забруднення атмосферного повітря. Життєвий цикл бетону є дуже коротким та в середньому складає біля двох годин, внаслідок чого його

виробництво знаходиться безпосередньо в межах населених пунктів; відповідно викиди забруднюючих речовин, що надходять в атмосферне повітря від виробничих процесів, чинять негативний вплив на здоров'я людей, якість їх життя та стан навколишнього природного середовища. Ділянки навколо промислових об'єктів, житлові райони, які знаходяться на зовнішній межі санітарно-захисної зони підприємств є найбільш уразливими щодо впливу на них забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря.

Дослідження стану забруднення атмосферного повітря у м. Києві і Київській області за даними спостережень Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського показують, що рівень забруднення є стабільно високим (7,0-14,0) по всіх пунктах спостережень за забрудненням атмосферного повітря, тому питання скорочення обсягів викидів є дуже актуальним та свідчить про необхідність переходу до більш екологічних технологій, в тому числі і в будівельній галузі, яка дуже стрімко розвивається в регіоні.

Джерелами викидів забруднюючих речовин на заводах з виробництва бетону є технологічні процеси пов'язані з розвантаженням, складуванням, транспортуванням сировини та готової продукції – бетону. Установки очистки газу, що застосовуються на заводах виробництва бетону є застарілими з фактичною ефективністю очищення газу від пилу на рівні від 60 до 80%. Вплив викидів на довкілля та здоров'я людини пов'язаний з забрудненням атмосферного повітря пилом та ризиками для здоров'я людей, що проживають поблизу до меж санітарно-захисної зони підприємства, так як цементний пил та його складові сполуки (оксиди металів, SO_3 , Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O) викликає захворювання верхніх відділень легенів, а також негативно впливає на шкіру та очі. Поступово в організмі людини при тривалій взаємодії з пилом можуть виникати хронічні захворювання, наприклад, запалення дихальних шляхів, що призводить до таких хвороб як бронхіти та трахеїти, інколи цементний пил призводить до онкологічних захворювань.

Можливі шляхи зниження рівня техногенного навантаження, скорочення обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря – це впровадження у виробничий процес нових технологічних рішень поведження з сировиною:

- удосконалення систем пиловловлення та газоочищення;
- застосування закритих технологічних циклів;
- використання закритих складів;

– впровадження систем пиловловлення та пилопригнічення при транспортуванні сировини.

Зазвичай стаціонарні заводи з виробництва бетону обладнані доволі простою системою аспірації та пилоочищення. Вона складається з витяжного вентилятора та пилоочисного вузла, в якості якого можуть виступати циклон чи картриджний фільтр. Це доволі економічне рішення, але воно не забезпечує очищення повітря до необхідної якості. Мобільні ж установки з виробництва бетону, які користуються все більшою популярністю, майже не оснащуються пилоочисним обладнанням. Отже, проблема запиленості як робочої зони, так й атмосферного повітря та оточуючих територій пилом залишається хронічною не дивлячись на наявність та роботу начебто діючого обладнання, яке в більшості випадків застаріло морально, а подекуди досягло такого ступеню зносу, що не відповідає паспортним характеристикам уловлювання пилу. Аналіз ефективності пилогазоочистки на бетонних заводах показує, що одностадійна схема вловлювання неефективна та потребує вдосконалення.

З метою підвищення ефективності очистки газу від пилу на заводах з виробництва бетону ідеальним рішенням представляється двоступенева пиловловлююча система, яка передбачає застосування циклону на першому ступеню очистки та рукавного фільтру, оснащеного механізмом періодичного струшування, на другому. Двоступенева система очистки газу забезпечить значне підвищення ефективності очистки до 99,9% завдяки комплексному підходу та оптимальному поєднанню різних діючих сил на частки пилинок протягом процесу очищення. В якості фільтрувального матеріалу для рукавних фільтрів використовують різні тканини (бавовняні, шерстяні, нітроніві, лавсанові тощо) високої міцності та підвищеної теплової і хімічної стійкості.

Застосування двоступеневої очистки газу під час здійснення операцій з сировиною для виробництва бетону дозволяє значно зменшити рівень техногенного навантаження на навколишнє середовище, вплив на здоров'я працівників заводів та мешканців прилеглих до санітарно-захисної зони підприємств житлових масивів.