

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут нафтогазової інженерії
Кафедра технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці

Цибульський Іван Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 504.3.054:
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Зниження рівня забруднення атмосферного повітря шляхом
впровадження сучасних газоочисних установок
(назва роботи)

Технології захисту навколишнього середовища
(назва освітньої програми)

183 Технології захисту навколишнього середовища
(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня _____ Цибульський Іван Вікторович
(підпис, ім'я та прізвище здобувача)

Науковий керівник Семчук Ярослав д. т. н., проф. кафедри ТЗБП
(підпис, ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

Доц. каф. ТЗБП _____ Галина Грицуляк _____
(посада) (підпис) (дата) (ім'я та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут нафтогазової інженерії
Кафедра технології захисту навколишнього
середовища та безпеки праці ОПП Технології захисту
навколишнього середовища

Затверджую
Зав. кафедри ТЗБП

Галина Грицуляк

(ім'я та прізвище)

(підпис)

“ _ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Цибульський Іван Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Зниження рівня забруднення атмосферного повітря шляхом впровадження сучасних газоочисних установок

керівник роботи Семчук Ярослав д. т. н., проф. кафедри ТЗБП

(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання керівника)

затверджені наказом університету від “ _____ ” _____ 20__ р. № _____
Термін здачі закінченої роботи “ _ ” _____ 20__ р.

2. Вихідні дані до роботи

Об'єктом дослідження є процес забруднення атмосферного повітря внаслідок діяльності підприємства з виробництва бетонних виробів.

Предметом дослідження є джерела утворення пилових і газових викидів, їхній вплив на стан атмосферного повітря, а також ефективність застосування сучасних газоочисних установок для зменшення рівня забруднення.

У роботі необхідно розглянути діяльність підприємства «Гарант+ Буд», розташованого в селі Ценжів, охарактеризувати основні джерела викидів забруднюючих речовин, зокрема процеси розвантаження цементу, зберігання сипучих матеріалів, дозування компонентів бетонної суміші, роботу бетонозмішувальної установки та рух вантажного транспорту територією підприємства.

Під час виконання роботи слід врахувати сучасний стан проблеми забруднення атмосферного повітря, нормативно-правові вимоги у сфері охорони атмосферного повітря, методи оцінювання пилових і газових викидів, а також технічні можливості впровадження сучасних газоочисних установок.

Перелік графічного та ілюстративного матеріалу

- Схема основних джерел забруднення атмосферного повітря.
- Класифікація забруднюючих речовин атмосферного повітря.
- Схема технологічного процесу виробництва бетонних виробів.
- Схема джерел утворення пилових викидів на підприємстві.
- Таблиця характеристики основних забруднюючих речовин.
- Діаграма структури викидів забруднюючих речовин до впровадження газоочисних установок.

- Порівняльна характеристика сучасних типів газоочисного обладнання.
- Технологічна схема очищення газових викидів із використанням аспіраційної системи та фільтрів.
- Графік зменшення пилових викидів після впровадження газоочисних установок.
- Діаграма екологічного ефекту від впровадження природоохоронних заходів.

Зміст пояснювальної записки

Вступ. Обґрунтувати актуальність теми, визначити мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, охарактеризувати методи дослідження, наукову новизну та практичне значення роботи.

Розділ 1. Теоретичні основи забруднення атмосферного повітря та методи його очищення. Розглянути атмосферне повітря як складову навколишнього природного середовища, основні джерела його забруднення, характеристику забруднюючих речовин, вплив забруднення на довкілля та здоров'я населення, а також нормативно-правове регулювання охорони атмосферного повітря.

Розділ 2. Характеристика об'єкта та методика дослідження. Надати загальну характеристику підприємства з виробництва бетонних виробів, визначити основні технологічні процеси, що спричиняють утворення пилових і газових викидів, описати джерела забруднення атмосферного повітря та методику оцінювання рівня забруднення.

Розділ 3. Оцінка впливу викидів на стан атмосферного повітря.

Проаналізувати склад і обсяги викидів забруднюючих речовин, провести оцінку рівня забруднення атмосферного повітря в зоні впливу підприємства, визначити основні джерела пилового навантаження та порівняти отримані показники з нормативними значеннями.

Розділ 4. Впровадження сучасних газоочисних установок для зниження рівня забруднення атмосферного повітря. Розглянути сучасні типи газоочисного обладнання, обґрунтувати вибір ефективної газоочисної установки, розробити технологічну схему очищення газових викидів, виконати розрахунок ефективності очищення, визначити екологічний ефект та сформулювати рекомендації щодо зменшення рівня забруднення атмосферного повітря.

Календарний план виконання бакалаврської роботи

№	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання	Примітка
1	Узгодження із керівником теми роботи		
2	Підготовка і аналіз наукових джерел		
3	Написання теоретичної частини		
4	Написання практичної частини		
5	Оформлення висновків		
6	Оформлення роботи		
7	Захист бакалаврської роботи		

Студент _____ Іван Цибульський
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ Ярослав Семчук
(підпис) (ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота присвячена дослідженню проблеми зниження рівня забруднення атмосферного повітря шляхом впровадження сучасних газоочисних установок. Актуальність теми зумовлена зростанням антропогенного навантаження на атмосферне повітря, збільшенням обсягів промислових і пилових викидів, а також необхідністю впровадження ефективних природоохоронних заходів на підприємствах будівельної галузі.

У роботі розглянуто теоретичні основи забруднення атмосферного повітря, його значення для довкілля та здоров'я населення, основні джерела утворення забруднюючих речовин, їхній склад і характер впливу на компоненти навколишнього природного середовища. Проаналізовано нормативно-правове регулювання охорони атмосферного повітря, а також сучасні методи очищення газоповітряних викидів.

Об'єктом дослідження є процес забруднення атмосферного повітря внаслідок діяльності підприємства з виробництва бетонних виробів. Предметом дослідження є джерела утворення пилових і газових викидів, їхній вплив на стан атмосферного повітря та ефективність застосування сучасних газоочисних установок.

У практичній частині роботи охарактеризовано підприємство «Гарант+Буд», розташоване в селі Ценжів. Визначено основні джерела забруднення атмосферного повітря, до яких належать розвантаження цементу, зберігання сипучих матеріалів, дозування компонентів бетонної суміші, робота бетонозмішувальної установки та рух вантажного транспорту територією підприємства. Встановлено, що основним видом забруднення є пилові викиди, які утворюються під час роботи з цементом, піском, щебенем та іншими сипучими матеріалами.

За результатами оцінки встановлено, що загальний валовий викид забруднюючих речовин до впровадження природоохоронних заходів становив 0,521 т/рік, з яких 0,416 т/рік припадало на пилові речовини. Найбільший внесок

у загальний обсяг викидів мала ділянка дозування та змішування компонентів бетонної суміші. Концентрація зважених частинок біля бетонозмішувальної установки перевищувала допустиме значення, що підтвердило необхідність впровадження ефективної системи пилогазоочищення.

У роботі обґрунтовано доцільність застосування сучасних газоочисних установок, зокрема аспіраційної системи, рукавних і картриджних фільтрів, локальних укриттів місць пересипання матеріалів, фільтрів на силосах цементу та заходів пилопригнічення на відкритих складах і транспортних шляхах. Запропоновані технічні рішення дозволяють уловлювати пил безпосередньо в місцях його утворення, зменшувати поширення забруднюючих речовин у повітрі та забезпечувати контроль за організованими викидами.

Розрахунок ефективності очищення показав, що впровадження запропонованих газоочисних установок дає змогу зменшити пилові викиди на 76,2 %, а загальний обсяг викидів забруднюючих речовин — на 60,9 %. Після впровадження природоохоронних заходів очікується зниження концентрацій зважених частинок і цементного пилу до рівнів, що не перевищують нормативні значення.

Екологічний ефект від впровадження сучасних газоочисних установок полягає у зменшенні запиленості виробничої території, покращенні умов праці працівників, зниженні негативного впливу на атмосферне повітря, ґрунтовий і рослинний покрив прилеглих територій. Практичне значення роботи полягає в можливості використання запропонованих заходів на підприємствах будівельної галузі для підвищення рівня екологічної безпеки та дотримання вимог природоохоронного законодавства.

Ключові слова: атмосферне повітря, забруднення, пилові викиди, газоочисні установки, аспіраційна система, рукавний фільтр, картриджний фільтр, цементний пил, бетонозмішувальна установка, екологічна безпека.

ANNOTATION

The bachelor's thesis is devoted to the study of reducing atmospheric air pollution through the implementation of modern gas-cleaning installations. The relevance of the topic is determined by the increasing anthropogenic impact on atmospheric air, the growth of industrial and dust emissions, and the need to introduce effective environmental protection measures at enterprises of the construction industry.

The paper examines the theoretical foundations of atmospheric air pollution, its importance for the environment and public health, the main sources of pollutant emissions, their composition, and their impact on the components of the natural environment. The regulatory and legal framework for atmospheric air protection, as well as modern methods of cleaning gas-air emissions, are also analyzed.

The object of the study is the process of atmospheric air pollution caused by the activity of an enterprise producing concrete products. The subject of the study is the sources of dust and gaseous emissions, their impact on the state of atmospheric air, and the effectiveness of using modern gas-cleaning installations.

In the practical part of the thesis, the enterprise "Garant+ Bud", located in the village of Tsenzhiiv, is characterized. The main sources of atmospheric air pollution were identified, including cement unloading, storage of bulk materials, dosing of concrete mixture components, operation of the concrete mixing unit, and movement of freight transport within the enterprise territory. It was established that the main type of pollution is dust emissions generated during work with cement, sand, crushed stone, and other bulk materials.

According to the assessment results, the total gross emission of pollutants before the implementation of environmental protection measures amounted to 0.521 t/year, of which 0.416 t/year accounted for dust substances. The largest contribution to the total amount of emissions was made by the section for dosing and mixing concrete mixture components. The concentration of suspended particles near the concrete mixing unit exceeded the permissible value, which confirmed the need to introduce an effective dust and gas cleaning system.

The thesis substantiates the feasibility of using modern gas-cleaning installations, including an aspiration system, bag and cartridge filters, local enclosures for material transfer points, filters on cement silos, and dust suppression measures at open storage areas and transport routes. The proposed technical solutions make it possible to capture dust directly at the points of its formation, reduce the spread of pollutants into the air, and ensure control over organized emissions.

The calculation of cleaning efficiency showed that the implementation of the proposed gas-cleaning installations makes it possible to reduce dust emissions by 76.2 %, and the total amount of pollutant emissions by 60.9 %. After the implementation of environmental protection measures, a decrease in the concentrations of suspended particles and cement dust to levels that do not exceed regulatory values is expected.

The environmental effect of introducing modern gas-cleaning installations consists in reducing dustiness within the production area, improving working conditions for employees, and reducing the negative impact on atmospheric air, soil, and vegetation cover of adjacent territories. The practical significance of the work lies in the possibility of using the proposed measures at construction industry enterprises to increase the level of environmental safety and ensure compliance with environmental legislation.

Keywords: atmospheric air, pollution, dust emissions, gas-cleaning installations, aspiration system, bag filter, cartridge filter, cement dust, concrete mixing unit, environmental safety.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА МЕТОДИ ЙОГО ОЧИЩЕННЯ.....	14
1.1. Атмосферне повітря як складова навколишнього природного середовища	14
1.2. Основні джерела забруднення атмосферного повітря	16
1.3. Характеристика основних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі	20
1.4. Вплив забруднення атмосферного повітря на довкілля та здоров'я населення.....	24
1.5. Нормативно-правове регулювання охорони атмосферного повітря	29
1.6. Загальна характеристика методів очищення газових викидів.....	32
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	38
2.1. Загальна характеристика підприємства або території дослідження.....	38
2.2. Характеристика технологічних процесів як джерел утворення газових викидів.....	40
2.3. Основні джерела викидів забруднюючих речовин на досліджуваному об'єкті	44
2.4. Методика визначення рівня забруднення атмосферного повітря.....	48
2.5. Показники, що використовуються для оцінки якості атмосферного повітря	53
2.6. Методи обробки та узагальнення результатів дослідження.....	59
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗООЧИЩЕННЯ	64
3.1. Аналіз складу та обсягів газових викидів.....	65
3.2. Оцінка концентрацій основних забруднюючих речовин у викидах.....	71
3.3. Порівняння фактичних показників забруднення з нормативними	

значеннями.....	76
3.4. Розрахунок валових викидів забруднюючих речовин	82
3.5. Оцінка впливу викидів на стан атмосферного повітря	88
3.6. Аналіз ефективності наявних газоочисних установок	95
РОЗДІЛ 4. ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ГАЗООЧИСНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ....	96
4.1. Сучасні типи газоочисного обладнання та принципи їх роботи.....	96
4.2. Обґрунтування вибору ефективної газоочисної установки.....	103
4.3. Технологічна схема очищення газових викидів	111
4.4. Розрахунок ефективності очищення газових викидів	118
4.5. Екологічний ефект від впровадження сучасних газоочисних установок	124
4.6. Рекомендації щодо зменшення рівня забруднення атмосферного повітря	129
ВИСНОВКИ.....	135
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	138

ВСТУП

Забруднення атмосферного повітря є однією з найактуальніших екологічних проблем сучасності, оскільки якість повітря безпосередньо впливає на стан довкілля, здоров'я населення, умови праці, функціонування природних екосистем і рівень екологічної безпеки територій. Атмосферне повітря є життєво необхідним природним ресурсом, а його забруднення призводить до погіршення санітарно-гігієнічних умов проживання людей, зростання ризику захворювань органів дихання та серцево-судинної системи, пошкодження рослинності, ґрунтів, водних об'єктів і будівельних матеріалів.

У сучасних умовах основними джерелами забруднення атмосферного повітря є промислові підприємства, об'єкти енергетики, транспорт, будівництво, житлово-комунальне господарство та підприємства, діяльність яких пов'язана з переробленням, транспортуванням і зберіганням сипучих матеріалів. Значну екологічну небезпеку становлять пилові викиди, які утворюються під час виробничих процесів, пов'язаних із цементом, піском, щебенем, золою, мінеральною сировиною та іншими дрібнодисперсними матеріалами. Такі викиди можуть поширюватися за межі виробничих майданчиків, осідати на ґрунтовий і рослинний покрив, погіршувати якість повітря та створювати несприятливі умови для працівників і населення прилеглих територій.

Особливої уваги потребують підприємства з виробництва бетонних виробів, оскільки їхня діяльність супроводжується утворенням цементного та мінерального пилу під час розвантаження сировини, зберігання сипучих матеріалів, дозування компонентів бетонної суміші, роботи бетонозмішувального обладнання, транспортування матеріалів і руху вантажної техніки. За відсутності ефективних пилогазоочисних заходів ці процеси можуть призводити до перевищення допустимих концентрацій забруднюючих речовин у повітрі та підвищення антропогенного навантаження на довкілля.

Актуальність теми бакалаврської роботи зумовлена необхідністю зменшення рівня забруднення атмосферного повітря шляхом впровадження сучасних газоочисних установок, які забезпечують уловлювання пилю та інших забруднюючих речовин безпосередньо в місцях їх утворення. Використання рукавних і картриджних фільтрів, аспіраційних систем, фільтрів на силосах цементу, локальних укриттів, систем пилопригнічення та інших технічних рішень дає змогу знизити концентрацію шкідливих речовин у викидах, покращити умови праці, забезпечити дотримання екологічних нормативів і зменшити негативний вплив підприємства на навколишнє природне середовище.

Метою бакалаврської роботи є оцінка рівня забруднення атмосферного повітря та обґрунтування ефективності впровадження сучасних газоочисних установок для зменшення викидів забруднюючих речовин на підприємстві з виробництва бетонних виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розглянути теоретичні основи забруднення атмосферного повітря та його роль у функціонуванні навколишнього природного середовища;
- охарактеризувати основні джерела забруднення атмосферного повітря та види забруднюючих речовин;
- проаналізувати вплив забруднення повітря на довкілля та здоров'я населення;
- розглянути нормативно-правові вимоги у сфері охорони атмосферного повітря;
- охарактеризувати досліджуваний об'єкт і визначити основні джерела викидів забруднюючих речовин;
- оцінити склад, обсяги та рівень забруднення атмосферного повітря в зоні впливу підприємства;
- проаналізувати ефективність наявних або запропонованих пилогазоочисних заходів;
- обґрунтувати вибір сучасної газоочисної установки для зниження рівня

забруднення атмосферного повітря;

- розрахувати ефективність очищення газових викидів після впровадження запропонованих природоохоронних заходів;

- розробити рекомендації щодо зменшення рівня забруднення атмосферного повітря.

Об'єктом дослідження є процес забруднення атмосферного повітря внаслідок діяльності підприємства з виробництва бетонних виробів.

Предметом дослідження є джерела утворення пилових і газових викидів, їхній вплив на стан атмосферного повітря, а також ефективність застосування сучасних газоочисних установок для зменшення рівня забруднення.

У роботі розглянуто підприємство «Гарант+ Буд», розташоване на території села Ценжів. Основними джерелами впливу на атмосферне повітря є технологічні процеси виробництва бетонних виробів, робота з цементом, піском, щебенем та іншими сипучими матеріалами, функціонування бетонозмішувального обладнання, а також рух вантажного транспорту територією підприємства.

Методи дослідження включають аналіз літературних і нормативно-правових джерел, систематизацію даних про джерела забруднення атмосферного повітря, розрахунок валових викидів забруднюючих речовин, порівняння фактичних концентрацій із гранично допустимими значеннями, оцінку ефективності газоочисного обладнання, графічне узагальнення результатів та розроблення практичних рекомендацій щодо зменшення негативного впливу підприємства на атмосферне повітря.

Наукова новизна роботи полягає в комплексному підході до оцінки пилового та газового забруднення атмосферного повітря на підприємстві з виробництва бетонних виробів і в обґрунтуванні доцільності застосування сучасних газоочисних установок для зниження рівня забруднення.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості використання запропонованих технічних і організаційних заходів для зменшення пилових викидів, покращення умов праці, забезпечення дотримання

природоохоронних нормативів та підвищення рівня екологічної безпеки на підприємствах будівельної галузі.

Бакалаврська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел. У першому розділі розглянуто теоретичні основи забруднення атмосферного повітря та методи його очищення. У другому розділі наведено характеристику досліджуваного об'єкта та методику дослідження. У третьому розділі здійснено оцінку рівня забруднення атмосферного повітря та ефективності газоочищення. У четвертому розділі обґрунтовано впровадження сучасних газоочисних установок і розроблено рекомендації щодо зниження рівня забруднення атмосферного повітря.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА МЕТОДИ ЙОГО ОЧИЩЕННЯ

1.1. Атмосферне повітря як складова навколишнього природного середовища

Атмосферне повітря є однією з найважливіших складових навколишнього природного середовища, без якої неможливе існування живих організмів на Землі. Воно забезпечує процеси дихання людей, тварин і рослин, бере участь у формуванні клімату, регулює тепловий баланс планети та є середовищем для поширення природних і антропогенних речовин. Стан атмосферного повітря безпосередньо впливає на здоров'я населення, якість життя, функціонування екосистем, стан ґрунтів, водних об'єктів і рослинного покриву [1, 6].

Атмосфера — це газова оболонка Землі, яка складається переважно з азоту, кисню, аргону, вуглекислого газу, водяної пари та незначної кількості інших газів. Основними компонентами атмосферного повітря є азот, частка якого становить близько 78 %, кисень — близько 21 %, а також інертні гази, вуглекислий газ та інші домішки. Незважаючи на те, що вуглекислий газ і деякі інші компоненти містяться у повітрі в незначних концентраціях, вони відіграють важливу роль у підтриманні природної рівноваги, зокрема у процесах фотосинтезу, теплообміну та формування парникового ефекту.

Атмосферне повітря виконує низку важливих екологічних функцій. Насамперед воно забезпечує живі організми киснем, необхідним для процесів дихання та обміну речовин. Крім того, атмосфера захищає поверхню Землі від надмірного ультрафіолетового випромінювання, сприяє перерозподілу тепла і вологи, бере участь у кругообігу води та інших біогеохімічних циклах. Вона також є середовищем, через яке відбувається перенесення тепла, вологи, пилу, газоподібних речовин і аерозолів на значні відстані [4, 8].

Якість атмосферного повітря залежить від співвідношення природних і антропогенних чинників. До природних джерел надходження домішок у

повітря належать вулканічна діяльність, пилові бурі, лісові пожежі природного походження, процеси розкладу органічних речовин, виділення газів із ґрунтів і водойм. Проте в сучасних умовах найбільший вплив на склад атмосферного повітря мають антропогенні джерела забруднення, пов'язані з промисловістю, енергетикою, транспортом, сільським господарством, будівництвом і побутовою діяльністю людини [12, 16].

Забруднення атмосферного повітря виникає внаслідок надходження до нього шкідливих речовин у кількостях, що перевищують природний фон або встановлені нормативи якості повітря. До основних забруднювачів належать пил, сажа, оксиди сульфуру, оксиди нітрогену, оксид карбону, леткі органічні сполуки, важкі метали, аміак, сірководень та інші хімічні речовини. Значну небезпеку становлять дрібнодисперсні частинки пилу, які можуть проникати в органи дихання людини та спричиняти негативні наслідки для здоров'я.

Особливістю атмосферного повітря є його висока рухливість. Завдяки циркуляції повітряних мас забруднювальні речовини можуть переноситися на великі відстані від джерела утворення. Це означає, що проблема забруднення повітря не обмежується лише територією підприємства або населеного пункту, де виникають викиди. Забруднювачі можуть поширюватися на сусідні райони, впливати на стан природних екосистем, сільськогосподарських угідь, водойм і житлових територій [18, 26].

Негативний вплив забрудненого атмосферного повітря проявляється у погіршенні здоров'я населення, зниженні продуктивності рослин, руйнуванні будівельних матеріалів, зміні хімічного складу ґрунтів і водних об'єктів. Особливо небезпечним є тривалий вплив забруднювачів у промислових регіонах і великих містах, де спостерігається поєднання викидів від підприємств, автотранспорту, котелень та інших джерел. У таких умовах зростає ризик виникнення захворювань органів дихання, серцево-судинної системи, алергічних реакцій та загального зниження імунітету.

Охорона атмосферного повітря є важливим напрямом екологічної політики та системи управління природокористуванням. Вона передбачає

здійснення комплексу організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і правових заходів, спрямованих на зменшення викидів забруднювальних речовин, контроль за їх концентраціями, впровадження екологічно безпечних технологій і використання сучасного газоочисного обладнання. Особливе значення має моніторинг стану атмосферного повітря, який дає змогу своєчасно виявляти перевищення допустимих концентрацій забруднювачів і приймати відповідні управлінські рішення [12, 14].

Отже, атмосферне повітря є незамінним природним ресурсом і важливою умовою існування біосфери. Його стан значною мірою визначає екологічну безпеку території, рівень здоров'я населення та стабільність природних екосистем. Зростання антропогенного навантаження зумовлює необхідність постійного контролю за якістю повітря, зменшення обсягів викидів та впровадження сучасних методів очищення газоповітряних викидів. Саме тому дослідження проблеми забруднення атмосферного повітря та пошук ефективних способів його очищення є актуальним завданням сучасної екологічної науки і практики.

1.2. Основні джерела забруднення атмосферного повітря

Забруднення атмосферного повітря є однією з найактуальніших екологічних проблем сучасності, оскільки повітряне середовище постійно зазнає впливу природних і антропогенних чинників. Під джерелами забруднення атмосферного повітря розуміють об'єкти, процеси або явища, унаслідок яких у повітря надходять шкідливі газоподібні, рідкі або тверді речовини. Їх накопичення у приземному шарі атмосфери може призводити до погіршення якості повітря, негативного впливу на здоров'я населення, рослинний і тваринний світ, ґрунти, водойми та кліматичні умови [12, 16].

Джерела забруднення атмосферного повітря поділяють на природні та антропогенні. Природні джерела формуються без безпосередньої участі людини і пов'язані з природними процесами, які відбуваються в біосфері. До

них належать вулканічні виверження, пилові бурі, лісові та степові пожежі природного походження, процеси гниття органічних решток, виділення газів із боліт, ґрунтів і водойм, перенесення морських солей, пилку рослин та інших біологічних частинок. Такі джерела можуть істотно впливати на склад атмосферного повітря, однак у більшості випадків їх дія має періодичний або локальний характер [6, 17].

Найбільшу небезпеку для стану атмосферного повітря становлять антропогенні джерела забруднення, тобто ті, що пов'язані з господарською діяльністю людини. Їхній вплив є більш тривалим, інтенсивним і часто зосередженим у промислових районах, великих містах та транспортних вузлах. Антропогенні джерела забруднення включають промислові підприємства, об'єкти енергетики, автомобільний транспорт, сільське господарство, будівництво, житлово-комунальне господарство, полігони відходів і процеси спалювання палива [8, 18].

Одним із головних джерел забруднення атмосферного повітря є промисловість. Значні обсяги шкідливих речовин надходять в атмосферу під час роботи підприємств металургійної, хімічної, цементної, нафтопереробної, машинобудівної, гірничодобувної та інших галузей. У процесі виробництва утворюються пил, дим, оксиди сульфуру, оксиди нітрогену, оксид карбону, леткі органічні сполуки, важкі метали та інші токсичні речовини. Особливо небезпечними є підприємства, на яких використовуються високотемпературні процеси, спалювання палива, випалювання сировини або хімічна переробка матеріалів [5, 9].

Важливим джерелом забруднення атмосфери є енергетика. Теплові електростанції, котельні та інші енергетичні установки під час спалювання вугілля, мазуту, природного газу або інших видів палива викидають у повітря значну кількість забруднювальних речовин. Найбільш характерними для енергетичних об'єктів є викиди діоксиду сульфуру, оксидів нітрогену, оксиду карбону, вуглекислого газу, золи, сажі та пилу. За відсутності ефективних газоочисних установок ці речовини можуть поширюватися на великі відстані та

спричиняти утворення кислотних опадів, смогових явищ і загальне погіршення екологічного стану територій.

Значну роль у забрудненні атмосферного повітря відіграє автомобільний транспорт. У великих містах саме транспорт часто є одним із провідних джерел забруднення приземного шару атмосфери. Під час роботи двигунів внутрішнього згоряння в повітря надходять оксид карбону, оксиди нітрогену, вуглеводні, сажа, бензапірен, дрібнодисперсний пил та інші речовини. Особливо високий рівень забруднення спостерігається на ділянках із напруженим рухом, у місцях заторів, поблизу автомагістралей, перехресть, автостанцій і промислових транспортних вузлів [6, 16].

Сільське господарство також є джерелом забруднення атмосферного повітря. У цій сфері забруднення пов'язане з використанням мінеральних добрив, пестицидів, роботою сільськогосподарської техніки, утриманням тваринницьких комплексів, спалюванням рослинних решток і процесами розкладу органічних відходів. У повітря можуть надходити аміак, метан, сірководень, пил, аерозолі пестицидів та інші сполуки. Особливо небезпечним є неконтрольоване спалювання сухої рослинності, оскільки воно супроводжується утворенням диму, сажі, чадного газу та токсичних органічних сполук.

Окрему групу джерел забруднення становить будівництво та виробництво будівельних матеріалів. Під час будівельних робіт, демонтажу споруд, транспортування сипучих матеріалів, виробництва цементу, цегли, асфальтобетону та інших матеріалів у повітря потрапляє значна кількість пилу. Будівельний пил може містити частинки цементу, піску, вапна, гіпсу, металів та інших речовин, які негативно впливають на органи дихання людини та погіршують санітарний стан територій [5, 17].

Житлово-комунальне господарство також впливає на якість атмосферного повітря. Джерелами забруднення є котельні, індивідуальні системи опалення, сміттєспалювання, полігони твердих побутових відходів, очисні споруди та каналізаційні системи. Унаслідок розкладання органічних

відходів на полігонах утворюються метан, сірководень, аміак та інші гази з неприємним запахом. За умов самозаймання або спалювання відходів у повітря можуть надходити діоксини, фурани, важкі метали, сажа та інші високотоксичні речовини.

За характером викидів джерела забруднення поділяють на стаціонарні та пересувні. До стаціонарних джерел належать промислові підприємства, котельні, електростанції, виробничі цехи, склади сировини, полігони відходів та інші об'єкти, що мають постійне місце розташування. Пересувними джерелами є автомобілі, автобуси, вантажний транспорт, залізничний, авіаційний, водний транспорт і спеціальна техніка. Викиди від пересувних джерел особливо небезпечні тим, що вони надходять безпосередньо в зону дихання людини, переважно в межах населених пунктів.

За способом надходження забруднювальних речовин в атмосферу джерела можуть бути організованими та неорганізованими. Організовані викиди надходять у повітря через спеціальні труби, вентиляційні канали або газоходи, що дає змогу здійснювати їх облік, контроль і очищення. Неорганізовані викиди виникають під час розвантаження сировини, зберігання сипучих матеріалів, випаровування хімічних речовин, роботи відкритих майданчиків, кар'єрів або аварійних ситуацій. Саме неорганізовані джерела часто є складними для контролю, оскільки вони не мають чітко визначеної точки викиду [5, 23].

Наслідки забруднення атмосферного повітря залежать від виду джерела, хімічного складу викидів, їх концентрації, тривалості впливу, метеорологічних умов і рельєфу місцевості. У разі слабкого вітру, температурної інверсії або високої вологості забруднювальні речовини можуть накопичуватися у приземному шарі атмосфери, що призводить до утворення смогу та підвищення ризику для здоров'я населення. Тому важливим завданням є не лише виявлення джерел забруднення, а й оцінка їхнього внеску в загальний рівень забруднення повітря.

Отже, основними джерелами забруднення атмосферного повітря є

промислові підприємства, енергетичні установки, транспорт, сільське господарство, будівництво, житлово-комунальне господарство та об'єкти поводження з відходами. Найбільший негативний вплив мають антропогенні джерела, діяльність яких пов'язана з інтенсивним використанням палива, сировини та хімічних речовин. Зменшення їхнього впливу можливе шляхом модернізації технологічних процесів, впровадження сучасних газоочисних установок, переходу на екологічно безпечні види палива, удосконалення транспортної інфраструктури та посилення контролю за викидами забруднювальних речовин в атмосферу.

1.3. Характеристика основних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

Атмосферне повітря може містити різноманітні забруднюючі речовини природного та антропогенного походження. До них належать газоподібні сполуки, тверді частинки, аерозолі, пари хімічних речовин, продукти згоряння палива, пил, сажа, важкі метали та органічні сполуки. Наявність цих речовин у повітрі в концентраціях, що перевищують допустимі норми, негативно впливає на здоров'я населення, стан рослинного і тваринного світу, ґрунти, водні об'єкти, кліматичні процеси та загальну екологічну безпеку територій.

Основними забруднюючими речовинами атмосферного повітря є пил, оксид карбону, діоксид сульфуру, оксиди нітрогену, леткі органічні сполуки, аміак, сірководень, озон приземного шару, важкі метали, бензапірен та інші токсичні домішки. Їхній вплив залежить від хімічного складу, концентрації, тривалості дії, метеорологічних умов, особливостей рельєфу та відстані від джерела викидів [14, 18].

Однією з найпоширеніших груп забруднювачів атмосферного повітря є пил та зважені частинки. Вони утворюються під час роботи промислових підприємств, спалювання палива, будівельних робіт, руху автотранспорту, видобування та транспортування сировини. Пил може мати різний хімічний

склад і розмір частинок. Особливу небезпеку становлять дрібнодисперсні частинки, які здатні тривалий час перебувати у повітрі та проникати в органи дихання людини. Вони можуть спричиняти подразнення слизових оболонок, захворювання дихальної системи, алергічні реакції та загальне погіршення самопочуття [19, 41].

Оксид карбону, або чадний газ, є безбарвним газом без запаху, який утворюється внаслідок неповного згоряння органічного палива. Основними джерелами його надходження в атмосферу є автомобільний транспорт, котельні, печі, теплові електростанції та промислові установки. Оксид карбону є небезпечним для людини, оскільки здатний зв'язуватися з гемоглобіном крові та зменшувати здатність організму переносити кисень. За високих концентрацій він може спричиняти головний біль, слабкість, запаморочення, порушення роботи серцево-судинної та нервової систем [15, 36].

Діоксид сульфуру є одним із характерних забруднювачів, що утворюється під час спалювання палива, яке містить сірку, зокрема вугілля та мазуту. Значні обсяги цієї речовини надходять в атмосферу від теплових електростанцій, котелень, металургійних і хімічних підприємств. Діоксид сульфуру подразнює органи дихання, погіршує стан людей із хронічними захворюваннями легень, а також бере участь у формуванні кислотних опадів. Унаслідок цього відбувається підкислення ґрунтів і водойм, пошкодження рослинності, руйнування будівельних матеріалів і пам'яток архітектури.

Оксиди нітрогену утворюються переважно під час високотемпературного спалювання палива. Основними джерелами їх викидів є автотранспорт, теплові електростанції, промислові печі, котельні та двигуни внутрішнього згоряння. Найбільше екологічне значення мають оксид нітрогену та діоксид нітрогену. Діоксид нітрогену має подразнювальну дію на органи дихання, сприяє утворенню фотохімічного смогу, кислотних опадів і приземного озону. У великих містах підвищені концентрації оксидів нітрогену часто пов'язані з інтенсивним рухом транспорту.

Леткі органічні сполуки — це велика група речовин, які легко

випаровуються і потрапляють у повітря під час використання розчинників, лакофарбових матеріалів, нафтопродуктів, пального, хімічної сировини та побутової хімії. До них належать бензол, толуол, ксилол, формальдегід та інші органічні сполуки. Джерелами летких органічних сполук є хімічна промисловість, нафтопереробні підприємства, автозаправні станції, транспорт, виробництво фарб, лаків і полімерних матеріалів. Деякі з цих речовин мають токсичні, подразнювальні або канцерогенні властивості, а також беруть участь у формуванні фотохімічного смогу.

Приземний озон є вторинним забруднювачем атмосферного повітря. Він не викидається безпосередньо з джерел забруднення, а утворюється в атмосфері внаслідок хімічних реакцій між оксидами нітрогену та леткими органічними сполуками під дією сонячного випромінювання. На відміну від озонового шару у верхніх шарах атмосфери, який захищає Землю від ультрафіолетового випромінювання, приземний озон є шкідливим для здоров'я людини та рослин. Він подразнює дихальні шляхи, знижує стійкість рослин до несприятливих умов і може негативно впливати на врожайність сільськогосподарських культур.

Аміак є газоподібною речовиною з різким запахом, яка надходить у повітря переважно від сільськогосподарських джерел. Основними джерелами його утворення є тваринницькі комплекси, зберігання та внесення органічних добрив, використання мінеральних добрив, очисні споруди та полігони відходів. Аміак подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів, а також бере участь у формуванні вторинних аерозолів, які погіршують якість атмосферного повітря [17, 26].

Сірководень є токсичним газом із характерним неприємним запахом. Він утворюється під час розкладання органічних речовин без доступу кисню, а також у процесах нафтопереробки, очищення стічних вод, роботи полігонів відходів і деяких хімічних виробництв. Навіть у малих концентраціях сірководень спричиняє неприємний запах і дискомфорт для населення, а за підвищених концентрацій може негативно впливати на нервову та дихальну

системи.

Важкі метали також належать до небезпечних забруднювачів атмосферного повітря. До них відносять свинець, кадмій, ртуть, хром, нікель, мідь, цинк та інші елементи. Вони можуть надходити в атмосферу у складі пилу та аерозолів під час роботи металургійних підприємств, спалювання палива, переробки відходів, роботи транспорту та промислового обладнання. Особливістю важких металів є їхня здатність накопичуватися в ґрунтах, рослинах, водних об'єктах і живих організмах. Тривалий вплив таких речовин може спричиняти порушення обміну речовин, ураження нервової системи, нирок, печінки та інших органів [1, 18].

Бензапірен є одним із найнебезпечніших органічних забруднювачів атмосферного повітря. Він утворюється під час неповного згоряння органічної сировини, палива, деревини, вугілля, нафтопродуктів і відходів. Джерелами бензапірену є автотранспорт, промислові печі, котельні, спалювання сміття, тютюновий дим і деякі технологічні процеси. Ця речовина є стійкою у довкіллі та має канцерогенні властивості, тому її наявність у повітрі становить значну небезпеку для здоров'я населення [7, 16].

До забруднюючих речовин атмосферного повітря також належать діоксини, фурани, формальдегід, фенол, хлор, фтористі сполуки та інші токсичні речовини. Вони можуть утворюватися під час хімічного виробництва, спалювання відходів, роботи промислових установок, використання полімерних матеріалів і пестицидів. Навіть у незначних концентраціях окремі з цих речовин можуть мати виражену токсичну дію, тому потребують постійного контролю та обмеження викидів.

Забруднюючі речовини можуть мати первинне або вторинне походження. Первинні забруднювачі надходять в атмосферу безпосередньо від джерел викидів. До них належать пил, оксид карбону, діоксид сульфуру, оксиди нітрогену, аміак, сірководень і леткі органічні сполуки. Вторинні забруднювачі утворюються вже в атмосфері внаслідок хімічних реакцій між первинними речовинами. Прикладами вторинних забруднювачів є приземний озон, вторинні

аерозолі та сполуки, що беруть участь у формуванні фотохімічного смогу.

Вплив забруднюючих речовин на довкілля може бути локальним, регіональним або глобальним. Локальний вплив проявляється поблизу джерел викидів, наприклад біля промислових підприємств, автомагістралей або котелень. Регіональний вплив пов'язаний із перенесенням забруднювачів на значні відстані та формуванням кислотних опадів. Глобальний вплив проявляється у зміні клімату, порушенні природних біогеохімічних циклів і накопиченні стійких забруднювачів у біосфері [15, 36].

Отже, основні забруднюючі речовини атмосферного повітря мають різне походження, хімічні властивості та характер впливу на довкілля і здоров'я людини. Найбільш поширеними серед них є пил, оксид карбону, діоксид сульфуру, оксиди нітрогену, леткі органічні сполуки, аміак, сірководень, важкі метали, бензапірен і приземний озон. Їхня наявність у повітрі потребує постійного моніторингу, нормування та впровадження ефективних заходів зі зменшення викидів. Особливо важливим напрямом є застосування сучасних газоочисних установок, які дають змогу зменшити концентрацію шкідливих речовин у промислових викидах і покращити якість атмосферного повітря.

1.4. Вплив забруднення атмосферного повітря на довкілля та здоров'я населення

Забруднення атмосферного повітря є одним із найнебезпечніших видів антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. Повітряні маси мають високу рухливість, тому забруднюючі речовини здатні швидко поширюватися на значні відстані від джерел їх утворення. Унаслідок цього негативного впливу зазнають не лише території, розташовані поблизу промислових підприємств, транспортних магістралей чи енергетичних об'єктів, а й віддалені природні екосистеми, сільськогосподарські угіддя, водойми та населені пункти.

Забруднення атмосферного повітря впливає на всі компоненти довкілля:

грунти, водні об'єкти, рослинний і тваринний світ, кліматичні умови та здоров'я людини. Найбільш небезпечними є пил, оксиди сульфуру, оксиди нітрогену, оксид карбону, леткі органічні сполуки, важкі метали, бензапірен, аміак, сірководень та інші токсичні речовини. Їхня дія залежить від концентрації у повітрі, тривалості впливу, хімічного складу, метеорологічних умов, рельєфу місцевості та чутливості живих організмів.

Одним із основних наслідків забруднення атмосферного повітря є погіршення стану рослинного покриву. Забруднюючі речовини осідають на листках, стеблах і ґрунтовій поверхні, порушують процеси фотосинтезу, дихання та водного обміну рослин. Діоксид сульфуру, оксиди нітрогену, озон приземного шару та пил можуть спричиняти пошкодження листкової поверхні, пожовтіння, передчасне опадання листя, уповільнення росту та зниження врожайності сільськогосподарських культур. Особливо чутливими до забруднення є хвойні породи, плодові дерева, овочеві культури та декоративні насадження в межах міст.

Значний вплив атмосферні забруднювачі мають на ґрунтовий покрив. Частинки пилу, важкі метали, токсичні органічні сполуки та інші домішки можуть випадати з атмосферними опадами або осідати на поверхню ґрунту. У результаті змінюється хімічний склад ґрунтів, знижується їх родючість, порушується діяльність ґрунтових мікроорганізмів, накопичуються токсичні елементи. Особливо небезпечними є важкі метали, оскільки вони здатні тривалий час зберігатися у ґрунті, переходити в рослини та потрапляти до харчових ланцюгів [1, 17].

Атмосферне забруднення також негативно впливає на водні об'єкти. Забруднюючі речовини потрапляють у річки, озера, ставки та підземні води разом з атмосферними опадами, поверхневим стоком або пиловими випадіннями. Оксиди сульфуру та нітрогену сприяють утворенню кислотних опадів, які підкислюють водойми, змінюють їхній хімічний склад і погіршують умови існування водних організмів. Унаслідок цього може знижуватися чисельність риб, водних безхребетних і мікроорганізмів, порушуватися

природна рівновага водних екосистем.

Одним із найбільш відомих екологічних наслідків забруднення атмосфери є утворення кислотних опадів. Вони формуються внаслідок взаємодії оксидів сульфуру та нітрогену з водяною парою в атмосфері. Кислотні дощі, сніг або туман негативно впливають на ґрунти, водойми, ліси, сільськогосподарські культури та будівельні матеріали. Під їх дією відбувається вимивання поживних елементів із ґрунту, підвищення рухомості важких металів, пошкодження кореневої системи рослин і руйнування вапнякових, бетонних та металевих конструкцій [17, 36].

Забруднення атмосферного повітря сприяє виникненню смогу, особливо у великих містах і промислових районах. Смог формується за умов високої концентрації забруднюючих речовин, слабкого вітру, температурної інверсії та високої вологості повітря. Фотохімічний смог виникає за участю оксидів нітрогену, летких органічних сполук і сонячного випромінювання. Він супроводжується утворенням приземного озону та інших вторинних забруднювачів, які подразнюють органи дихання, погіршують видимість і негативно впливають на рослинність.

Окрему небезпеку становить вплив забруднення атмосферного повітря на кліматичні процеси. Викиди вуглекислого газу, метану, оксидів нітрогену та інших парникових газів сприяють посиленню парникового ефекту та зміні клімату. Наслідками цього є підвищення середньорічних температур, зміна режиму опадів, частіші посухи, повені, хвилі спеки та інші екстремальні погодні явища. Крім того, аерозолі та пилові частинки можуть впливати на сонячну радіацію, хмароутворення та тепловий баланс атмосфери [19, 46].

Забруднення атмосферного повітря негативно впливає і на тваринний світ. Токсичні речовини можуть потрапляти в організм тварин через дихальну систему, воду, корм або забруднений ґрунт. Це може спричиняти порушення обміну речовин, зниження імунітету, погіршення репродуктивної здатності та підвищення смертності окремих видів. У природних екосистемах забруднення повітря може призводити до зміни видового складу, скорочення чисельності

чутливих видів і порушення харчових ланцюгів.

Найбільш безпосередньо забруднення атмосферного повітря впливає на здоров'я населення. Людина постійно контактує з повітрям у процесі дихання, тому шкідливі речовини можуть швидко потрапляти до організму. Особливо небезпечними є дрібнодисперсні частинки пилу, оксиди нітрогену, діоксид сульфуру, оксид карбону, озон, формальдегід, бензапірен і важкі метали. Вони можуть спричиняти гострі та хронічні захворювання органів дихання, серцево-судинної системи, нервової системи, алергічні реакції та загальне погіршення самопочуття [7, 29].

Найчастіше забруднене повітря впливає на органи дихання. Пил, сажа, аерозолі та газоподібні домішки подразнюють слизові оболонки носа, горла, бронхів і легень. Тривалий вплив таких речовин може сприяти розвитку бронхіту, астми, хронічних обструктивних захворювань легень, частих респіраторних інфекцій та зниженню функції легень. Особливо небезпечними є дрібні частинки, які можуть проникати глибоко в легені та затримуватися в альвеолах.

Забруднення повітря також пов'язане з підвищеним ризиком серцево-судинних захворювань. Дрібнодисперсний пил і токсичні гази можуть спричиняти запальні процеси в організмі, погіршувати насичення крові киснем, підвищувати навантаження на серце та судини. У людей, які проживають у районах із високим рівнем забруднення повітря, частіше спостерігаються підвищений артеріальний тиск, порушення серцевого ритму, загострення хронічних хвороб серця та зниження загальної працездатності.

Окремі забруднюючі речовини мають канцерогенні властивості. До них належать бензапірен, деякі леткі органічні сполуки, формальдегід, діоксини, фурани та сполуки важких металів. Тривале надходження таких речовин в організм навіть у невеликих концентраціях може підвищувати ризик розвитку онкологічних захворювань. Особливо небезпечним є поєднаний вплив кількох забруднювачів, коли їхня дія на організм посилюється.

Найбільш вразливими до впливу забрудненого атмосферного повітря є

діти, люди похилого віку, вагітні жінки, особи з хронічними захворюваннями органів дихання та серцево-судинної системи, а також населення, яке проживає поблизу промислових підприємств, автомагістралей, котелень або полігонів відходів. У дітей забруднене повітря може негативно впливати на розвиток дихальної системи, імунітет, фізичний розвиток і здатність до навчання.

Крім прямого впливу на здоров'я, забруднення атмосферного повітря погіршує якість життя населення. Неприємні запахи, дим, пил, смог, зниження видимості та забруднення поверхонь створюють дискомфорт, знижують привабливість територій для проживання і відпочинку. У промислових районах забруднення повітря може впливати на соціально-економічний стан населення через збільшення витрат на лікування, зниження працездатності та погіршення умов праці.

Негативний вплив атмосферного забруднення проявляється і в пошкодженні будівель, споруд, пам'яток архітектури та інфраструктури. Кислотні опади, пил, сажа та агресивні гази сприяють корозії металів, руйнуванню бетону, цегли, каменю, фарбового покриття та інших матеріалів. Це призводить до скорочення терміну експлуатації будівель і необхідності додаткових витрат на ремонт та відновлення [17, 42].

Для зменшення негативного впливу забруднення атмосферного повітря необхідне впровадження комплексної системи природоохоронних заходів. Важливими напрямками є модернізація промислових підприємств, використання сучасних газоочисних установок, перехід на екологічно чистіші види палива, розвиток громадського та електричного транспорту, озеленення населених пунктів, контроль за викидами та постійний моніторинг якості повітря. Особливе значення має дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у повітрі.

Отже, забруднення атмосферного повітря має багатосторонній негативний вплив на довкілля та здоров'я населення. Воно спричиняє погіршення стану рослинності, ґрунтів і водних об'єктів, утворення кислотних опадів і смогу, зміну кліматичних умов, пошкодження будівельних матеріалів

та зростання ризиків для здоров'я людини. З огляду на це, охорона атмосферного повітря є важливою умовою забезпечення екологічної безпеки, сталого розвитку територій і збереження здоров'я населення.

1.5. Нормативно-правове регулювання охорони атмосферного повітря

Охорона атмосферного повітря в Україні є важливою складовою державної екологічної політики та системи забезпечення екологічної безпеки. Нормативно-правове регулювання у цій сфері спрямоване на запобігання забрудненню повітря, обмеження шкідливих викидів, встановлення екологічних нормативів, здійснення державного моніторингу та притягнення порушників до відповідальності. Правові вимоги щодо охорони атмосферного повітря поширюються на підприємства, установи, організації, органи державної влади, органи місцевого самоврядування та громадян [1, 6].

Правовою основою охорони атмосферного повітря є Конституція України, яка гарантує кожному право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та право на відшкодування шкоди, заподіяної порушенням цього права. Крім того, громадянам гарантується право доступу до інформації про стан довкілля, зокрема про якість атмосферного повітря. Це положення є базовим для формування всієї системи екологічного законодавства України.

Загальні засади охорони довкілля визначає Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Він встановлює принципи раціонального використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, обов'язковості дотримання екологічних нормативів, здійснення екологічного контролю та відповідальності за порушення природоохоронного законодавства. У межах цього закону атмосферне повітря розглядається як один із важливих компонентів навколишнього природного середовища, що потребує охорони від забруднення та іншого шкідливого впливу [21, 30].

Спеціальним нормативно-правовим актом у цій сфері є Закон України

«Про охорону атмосферного повітря». Він визначає правові та організаційні основи, а також екологічні вимоги в галузі охорони атмосферного повітря. Закон спрямований на збереження і відновлення природного стану атмосферного повітря, створення сприятливих умов для життєдіяльності населення, забезпечення екологічної безпеки та запобігання шкідливому впливу забруднення на довкілля і здоров'я людини [19, 25].

Відповідно до законодавства, атмосферне повітря розглядається як життєво важливий компонент навколишнього природного середовища, що являє собою природну суміш газів за межами жилих, виробничих та інших приміщень. Такий підхід підкреслює особливе значення повітря як природного ресурсу, який не може бути ізольований у межах окремої території, оскільки забруднюючі речовини здатні поширюватися на значні відстані.

Одним із ключових механізмів правового регулювання є нормування викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Нормативи встановлюються для обмеження кількості забруднюючих речовин, які можуть надходити в атмосферу від стаціонарних джерел. Порядок розроблення та затвердження нормативів граничнодопустимих викидів із стаціонарних джерел визначений постановою Кабінету Міністрів України № 1780. Цей порядок передбачає встановлення вимог до викидів з урахуванням технологічних процесів, характеристик обладнання, виду забруднюючих речовин та умов їх розсіювання в атмосфері [15, 23].

Важливе значення має дозвільна система у сфері охорони атмосферного повітря. Підприємства, установи та організації, які здійснюють викиди забруднюючих речовин стаціонарними джерелами, повинні отримувати відповідні дозволи. Порядок проведення робіт, пов'язаних із видачею, переоформленням, зупиненням, поновленням та припиненням дії дозволів на викиди, визначено постановою Кабінету Міністрів України № 302. Наявність дозволу дає змогу державі контролювати обсяги викидів, склад забруднюючих речовин і дотримання підприємством встановлених екологічних вимог.

Окремим напрямом нормативного регулювання є встановлення гранично

допустимих концентрацій забруднюючих речовин у повітрі населених місць. Такі нормативи мають санітарно-гігієнічне значення, оскільки визначають безпечні рівні вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі для населення. У 2024 році наказом Міністерства охорони здоров'я України № 813 затверджено державні медико-санітарні нормативи допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць, зокрема гранично допустимі концентрації та орієнтовно безпечні рівні впливу.

Важливою складовою правового механізму є державний моніторинг атмосферного повітря. Його метою є систематичне спостереження за станом повітря, оцінювання рівня забруднення, прогнозування змін якості повітря та інформування населення. Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 827. Він передбачає організацію моніторингу в зонах та агломераціях, координацію дій суб'єктів моніторингу, розроблення програм спостережень і управління якістю атмосферного повітря [24, 37].

Для підприємств, діяльність яких може мати значний вплив на довкілля, важливим є проходження процедури оцінки впливу на довкілля. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» передбачає аналіз можливих екологічних наслідків планованої діяльності ще до початку її реалізації. У межах цієї процедури оцінюється, зокрема, можливий вплив на атмосферне повітря, обсяги та склад викидів, ризики для населення і довкілля, а також заходи щодо запобігання або зменшення негативного впливу.

У сучасних умовах важливим напрямом розвитку законодавства є впровадження інтегрованого підходу до запобігання промисловому забрудненню. Закон України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення» встановлює правові та організаційні засади запобігання, зменшення і контролю забруднення, що виникає внаслідок промислової діяльності. Його значення полягає у переході від окремого регулювання різних видів впливу до комплексного контролю промислових викидів, скидів, утворення відходів та використання ресурсів.

Контроль за дотриманням вимог законодавства у сфері охорони атмосферного повітря здійснюють уповноважені державні органи. Вони мають право перевіряти дотримання підприємствами умов дозволів на викиди, правильність ведення обліку забруднюючих речовин, виконання природоохоронних заходів і наявність газоочисного обладнання. У разі порушення вимог законодавства до винних осіб можуть застосовуватися адміністративні, цивільно-правові або кримінальні заходи відповідальності.

Адміністративна відповідальність може наставати за викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря без дозволу, недотримання умов дозволу, перевищення встановлених нормативів або інші порушення порядку здійснення викидів. Такі положення передбачені Кодексом України про адміністративні правопорушення. Якщо ж забруднення атмосферного повітря створює небезпеку для життя, здоров'я людей або довкілля, може наставати кримінальна відповідальність відповідно до статті 241 Кримінального кодексу України.

Отже, нормативно-правове регулювання охорони атмосферного повітря в Україні охоплює систему законів, постанов, санітарних нормативів і дозвільних процедур, спрямованих на запобігання забрудненню та забезпечення екологічної безпеки. Основними елементами цієї системи є нормування викидів, видача дозволів, державний моніторинг якості повітря, оцінка впливу на довкілля, контроль за діяльністю підприємств і відповідальність за порушення вимог законодавства. Ефективне застосування цих інструментів є необхідною умовою зниження рівня забруднення атмосферного повітря та захисту здоров'я населення

1.6. Загальна характеристика методів очищення газових викидів

Очищення газових викидів є одним із найважливіших напрямів зменшення забруднення атмосферного повітря. У процесі роботи промислових підприємств, енергетичних установок, котелень, виробництв будівельних

матеріалів, хімічних і металургійних об'єктів в атмосферу можуть надходити пил, сажа, оксиди сульфуру, оксиди нітрогену, оксид карбону, леткі органічні сполуки, аміак, сірководень, пари кислот, лугів, важкі метали та інші шкідливі речовини. Без належного очищення такі викиди погіршують якість атмосферного повітря, створюють ризики для здоров'я населення та спричиняють негативні зміни у довкіллі.

Методи очищення газових викидів — це сукупність технологічних прийомів і технічних засобів, спрямованих на видалення або знешкодження забруднюючих речовин із газоповітряних потоків перед їх надходженням в атмосферу. Основною метою таких методів є зниження концентрації шкідливих домішок до рівнів, що не перевищують установлені нормативи граничнодопустимих викидів. Вибір конкретного методу очищення залежить від складу газового потоку, агрегатного стану забруднювача, температури, вологості, тиску, концентрації домішок, об'єму викидів, токсичності речовин і техніко-економічних можливостей підприємства.

У загальному вигляді методи очищення газових викидів поділяють на механічні, фізико-хімічні, хімічні, термічні, біологічні та комбіновані. Кожна група методів має свої особливості, переваги, обмеження та сферу застосування. На практиці часто використовують не один окремий метод, а комплексну систему очищення, яка складається з кількох послідовних ступенів. Це дає змогу ефективніше видалити різні види забруднювачів і забезпечувати вищий рівень екологічної безпеки.

Механічні методи очищення застосовують переважно для видалення з газових потоків твердих і рідких завислих частинок, зокрема пилу, сажі, золи, крапель туману та аерозолів. До цієї групи належать пиловловлювальні камери, циклони, жалюзійні пиловловлювачі, рукавні фільтри, зернисті фільтри та інші апарати. Принцип їхньої роботи ґрунтується на використанні сили тяжіння, інерції, відцентрової сили, фільтрації або осадження частинок на спеціальних поверхнях.

Найпростішими механічними апаратами є пиловловлювальні камери, у

яких швидкість руху газового потоку зменшується, і великі частинки пилу осідають під дією сили тяжіння. Такі установки мають просту конструкцію, але невисоку ефективність щодо дрібнодисперсного пилу. Більш поширеними є циклони, у яких очищення відбувається за рахунок відцентрової сили. Газовий потік закручується всередині апарата, частинки пилу відкидаються до стінок і осідають у нижній частині циклона. Циклони є надійними, відносно дешевими та придатними для попереднього очищення газів.

Для більш тонкого очищення газових викидів використовують фільтраційні методи. Найпоширенішими є рукавні фільтри, у яких запилений газ проходить через тканинний або синтетичний фільтрувальний матеріал. Частинки пилу затримуються на поверхні фільтра, а очищений газ проходить далі. Рукавні фільтри характеризуються високою ефективністю очищення, у тому числі від дрібнодисперсного пилу, однак потребують регулярного очищення фільтрувальних елементів і контролю за їх технічним станом.

До високоефективних методів очищення газових викидів належить електростатичне очищення. Його здійснюють за допомогою електрофільтрів, у яких частинки пилу заряджаються в електричному полі та осаджуються на спеціальних електродах. Електрофільтри широко застосовують на теплових електростанціях, цементних заводах, металургійних підприємствах та інших виробництвах із великими обсягами заплених газів. Вони здатні забезпечувати високий ступінь очищення, однак мають складнішу конструкцію і потребують стабільних умов роботи [1, 33].

Фізико-хімічні методи очищення застосовують переважно для вилучення газоподібних і пароподібних забруднювачів. До них належать абсорбція, адсорбція, конденсація та мембранні методи. Абсорбція полягає у поглинанні газоподібних домішок рідким поглиначем. Такий метод використовують для очищення газів від діоксиду сульфуру, аміаку, сірководню, хлору, фтористих сполук та інших речовин. Абсорбційні апарати можуть працювати з водою, лужними, кислотними або спеціальними розчинами залежно від природи забруднювача.

Адсорбція ґрунтується на здатності твердих пористих матеріалів поглинати молекули забруднюючих речовин із газового потоку. Як адсорбенти використовують активоване вугілля, цеоліти, силікагелі, алюмогелі та інші матеріали з великою питомою поверхнею. Адсорбційні методи ефективні для вилучення летких органічних сполук, парів розчинників, неприємних запахів та окремих токсичних речовин. Після насичення адсорбент потребує регенерації або заміни.

Конденсаційні методи очищення застосовують для вилучення парів речовин шляхом їх охолодження та переходу з газоподібного стану в рідкий. Такий підхід доцільний тоді, коли забруднююча речовина має достатньо високу концентрацію і може бути повернена у виробничий процес або утилізована. Конденсація часто використовується як попередній етап перед адсорбційним або термічним очищенням.

Хімічні методи очищення передбачають перетворення шкідливих речовин у менш токсичні або безпечні сполуки шляхом хімічних реакцій. Такі процеси можуть відбуватися у газовій фазі або в рідкому середовищі. Прикладом є нейтралізація кислотних газів лужними розчинами, окиснення сірководню, відновлення оксидів нітрогену або зв'язування токсичних домішок спеціальними реагентами. Хімічні методи часто застосовують у поєднанні з абсорбційними установками [1, 14].

Термічні методи очищення використовують для знешкодження горючих або токсичних газоподібних речовин шляхом їх спалювання чи окиснення за високих температур. До цієї групи належать пряме спалювання, термічне окиснення та каталітичне окиснення. Термічні методи ефективні для очищення газів від летких органічних сполук, парів розчинників, органічних домішок і неприємних запахів. Їхня перевага полягає у високому ступені знешкодження органічних речовин, але недоліком є значні енергетичні витрати та можливість утворення вторинних продуктів згоряння.

Каталітичне очищення є різновидом хімічного або термічного методу, за якого реакції окиснення чи відновлення відбуваються за участю каталізаторів.

Завдяки цьому процес може проходити за нижчих температур, ніж при звичайному термічному спалюванні. Каталітичні методи застосовують для знешкодження оксиду карбону, оксидів нітрогену, летких органічних сполук та інших газоподібних домішок. Вони є ефективними, але потребують якісних каталізаторів і захисту від речовин, які можуть їх отруювати.

Біологічні методи очищення газових викидів ґрунтуються на здатності мікроорганізмів розкладати або перетворювати забруднюючі речовини на менш шкідливі сполуки. До таких методів належать біофільтрація, біоскрубери та біореактори. Біологічне очищення доцільне для газів із невисокими концентраціями органічних речовин, сірководню, аміаку та речовин із неприємним запахом. Перевагами біологічних методів є екологічність і відносно низькі експлуатаційні витрати, проте вони потребують підтримання оптимальної температури, вологості, рН та активності мікроорганізмів.

Комбіновані методи очищення передбачають поєднання кількох технологічних процесів в одній системі. Наприклад, для очищення промислових викидів може спочатку застосовуватися циклон для вилучення крупного пилу, потім рукавний фільтр або електрофільтр для тонкого очищення, а після цього — абсорбер або адсорбер для видалення газоподібних домішок. Такий підхід є найбільш ефективним у випадках, коли газові викиди мають складний склад і містять одночасно тверді частинки, аерозолі та газоподібні забруднювачі [18, 23].

Вибір методу очищення газових викидів має здійснюватися з урахуванням властивостей забруднюючих речовин і технологічних умов виробництва. Для пилових викидів доцільно застосовувати циклони, фільтри або електрофільтри. Для кислотних газів ефективними є абсорбційні та хімічні методи. Для летких органічних сполук використовують адсорбцію, конденсацію, термічне або каталітичне окиснення. Для речовин із неприємним запахом і низькими концентраціями органічних домішок можуть бути ефективними біологічні методи очищення.

Ефективність газоочисних установок залежить не лише від правильного

вибору методу, а й від якості експлуатації обладнання. Важливе значення мають регулярне технічне обслуговування, контроль герметичності систем, своєчасна заміна фільтрувальних матеріалів, очищення осаджувальних елементів, перевірка роботи вентиляторів, насосів, форсунок, електродів та інших вузлів. Недотримання умов експлуатації може призвести до зниження ефективності очищення і збільшення фактичних викидів забруднюючих речовин.

Упровадження сучасних методів очищення газових викидів має важливе екологічне, санітарно-гігієнічне та економічне значення. Воно дає змогу зменшити надходження шкідливих речовин в атмосферу, покращити якість повітря в населених пунктах, знизити ризики для здоров'я населення, зменшити негативний вплив на ґрунти, водойми та рослинність. Крім того, окремі технології очищення дозволяють уловлювати цінні речовини та повертати їх у виробничий цикл, що сприяє ресурсозбереженню.

Отже, методи очищення газових викидів є важливою складовою системи охорони атмосферного повітря. Вони включають механічні, фізико-хімічні, хімічні, термічні, біологічні та комбіновані способи вилучення або знешкодження забруднюючих речовин. Найбільш ефективним є комплексний підхід, який передбачає поєднання кількох методів очищення відповідно до складу викидів і умов роботи підприємства. Застосування сучасних газоочисних установок є необхідною умовою зниження рівня забруднення атмосферного повітря та забезпечення екологічної безпеки промислових територій.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

2.1. Загальна характеристика підприємства або території дослідження

Об'єктом дослідження у бакалаврській роботі є підприємство «Гарант+ Буд», виробнича діяльність якого здійснюється на території села Ценжів Івано-Франківського району Івано-Франківської області. Село Ценжів входить до складу Ямницької територіальної громади, а саме до Майданського старостинського округу. За інформацією Ямницької сільської ради, населений пункт Ценжів набув офіційного статусу села у 2021 році.

Підприємство «Гарант+ Буд» спеціалізується на виробництві бетонних виробів, зокрема тротуарної бруківки, поребриків, бордюрів, фундаментних блоків ФБС, стінових блоків, елементів огорожі та інших будівельних конструкцій. На офіційному сайті підприємства зазначено, що його виробництво розташоване саме у с. Ценжів Івано-Франківської області.

Територія розміщення підприємства має виробничий характер і використовується для виготовлення, зберігання та відвантаження бетонної продукції. Основними технологічними процесами на такому підприємстві є приймання та зберігання сировини, дозування цементу, піску, щебеню, води та добавок, приготування бетонної суміші, формування виробів, їх витримання, складування готової продукції та транспортування до споживачів. Саме ці процеси можуть бути пов'язані з утворенням пилових і газових викидів у атмосферне повітря [19, 27].

Основною сировиною для виробництва бетонних виробів є цемент, пісок, щебінь, вода, пігменти та хімічні добавки. Найбільший вплив на атмосферне повітря може мати робота з сипучими матеріалами, особливо цементом, піском і щебенем. Під час їх розвантаження, пересипання, транспортування та дозування у повітря можуть потрапляти зважені частинки пилу. Цементний пил

є одним із характерних забруднювачів для підприємств із виробництва бетонних виробів, оскільки він має дрібнодисперсний склад і може поширюватися у приземному шарі атмосфери.

Потенційними джерелами забруднення атмосферного повітря на підприємстві є бетонозмішувальне обладнання, силоси для зберігання цементу, місця розвантаження сипучої сировини, транспортери, складські майданчики, ділянки формування бетонних виробів, внутрішньозаводський транспорт, вантажні автомобілі та навантажувальна техніка. Крім пилових викидів, у повітря можуть надходити продукти згоряння палива від роботи автотранспорту та спеціальної техніки: оксид карбону, оксиди нітрогену, сажа, вуглеводні та дрібнодисперсні частинки.

За характером утворення викидів на підприємстві можна виділити організовані та неорганізовані джерела. До організованих джерел можуть належати вентиляційні системи, аспіраційні установки, фільтри силосів цементу, газоходи або інші спеціально обладнані канали відведення забрудненого повітря. Неорганізовані викиди виникають під час відкритого зберігання сипучих матеріалів, руху транспорту по території, пересипання сировини, навантаження готової продукції та роботи відкритих виробничих майданчиків [27, 35].

Важливим чинником, що впливає на рівень забруднення атмосферного повітря, є розташування підприємства відносно житлової забудови, зелених насаджень, доріг і відкритих територій. Оскільки с. Ценжів є невеликим населеним пунктом у складі Ямницької громади, особливу увагу під час оцінки впливу підприємства необхідно приділяти можливому поширенню пилу за межі виробничого майданчика, впливу транспортних перевезень, а також дотриманню санітарно-захисної зони.

На стан атмосферного повітря в районі підприємства впливають також метеорологічні умови: напрям і швидкість вітру, температура повітря, вологість, кількість опадів та рельєф місцевості. У суху та вітряну погоду зростає ризик підняття пилу з відкритих майданчиків, доріг і складів сипучих

матеріалів. За умов слабого вітру або температурної інверсії забруднюючі речовини можуть накопичуватися у приземному шарі атмосфери.

Для зменшення негативного впливу на атмосферне повітря на підприємстві доцільно застосовувати сучасні пилогазоочисні заходи. До них належать герметизація місць пересипання цементу, встановлення фільтрів на силосах, використання аспіраційних систем, регулярне зволоження відкритих майданчиків і доріг, накриття або закритий спосіб зберігання сипучих матеріалів, очищення території від пилу, озеленення меж виробничої зони та контроль технічного стану автотранспорту.

Таким чином, підприємство «Гарант+ Буд» у с. Ценжів є доцільним об'єктом для дослідження впливу виробництва бетонних виробів на стан атмосферного повітря. Основними потенційними забруднювачами є цементний і мінеральний пил, зважені частинки, а також продукти згоряння палива від роботи транспорту й техніки. Подальша оцінка забруднення атмосферного повітря має передбачати визначення основних джерел викидів, характеристику забруднюючих речовин, аналіз умов їх поширення та обґрунтування заходів щодо впровадження або вдосконалення газоочисних установок.

2.2. Характеристика технологічних процесів як джерел утворення газових викидів

Виробнича діяльність підприємства «Гарант+ Буд», розташованого на території села Ценжів, пов'язана з виготовленням бетонних виробів. За відкритими даними підприємства, основними видами продукції є бруківка, поребрики, бордюри, фундаментні блоки ФБС, стінові блоки, елементи огорожі, квітники та інші бетонні конструкції. Виробництво бруківки на підприємстві характеризується як автоматизоване, із використанням сучасного обладнання та контролю якості продукції.

Технологічний процес виробництва бетонних виробів охоплює кілька основних етапів: приймання та зберігання сировини, підготовку компонентів

бетонної суміші, дозування матеріалів, змішування, формування виробів, ущільнення, витримування, складування готової продукції та її транспортування. Кожен із цих етапів може бути потенційним джерелом утворення пилових або газових викидів, які впливають на стан атмосферного повітря в межах виробничої території та прилеглих ділянок [11, 27].

Основною сировиною для виробництва бетонних виробів є цемент, пісок, щебінь, вода, пігменти та спеціальні добавки. На одному з інформаційних ресурсів про підприємство зазначено, що у виробництві використовуються миті пісок і щебінь, а також цемент 500-ї марки. Найбільша кількість пилових викидів може утворюватися саме під час операцій із цементом, піском і щебенем, оскільки ці матеріали належать до сипучих і можуть легко пилити при пересипанні, транспортуванні та дозуванні.

Першим етапом технологічного процесу є приймання та розвантаження сировини. Цемент, пісок, щебінь та інші матеріали доставляються на підприємство вантажним транспортом. Під час розвантаження сипучих матеріалів у повітря можуть потрапляти зважені частинки пилу. Особливо інтенсивне пилоутворення можливе у суху погоду, за наявності вітру або при недостатньому зволоженні відкритих майданчиків. Основними забруднювачами на цьому етапі є мінеральний пил, цементний пил і частинки ґрунту, які піднімаються під час руху транспорту [16, 36].

Наступним етапом є зберігання сировини. Цемент зазвичай зберігається у закритих силосах або бункерах, а пісок і щебінь можуть розміщуватися на відкритих або частково закритих складських майданчиках. Потенційними джерелами викидів на цьому етапі є силоси цементу, місця завантаження і вивантаження сипучих матеріалів, склади піску та щебеню. Якщо місця зберігання не обладнані захисними екранами, накриттям або системами зволоження, пил може переноситися за межі виробничої ділянки.

Важливим технологічним процесом є дозування компонентів бетонної суміші. На цьому етапі цемент, пісок, щебінь, вода, пігменти та добавки подаються у визначених кількостях до бетонозмішувального обладнання. Під

час подачі цементу та інших сипучих компонентів можливе утворення дрібнодисперсного пилу. Найбільш небезпечним є цементний пил, оскільки він має лужну реакцію та може подразнювати слизові оболонки очей і органів дихання у працівників.

Етап приготування бетонної суміші здійснюється у бетонозмішувачах або змішувальних установках. У процесі змішування компонентів утворення пилу можливе при завантаженні сухих матеріалів, особливо до моменту додавання води. Після зволоження суміші інтенсивність пиловиділення зменшується, однак у зоні завантаження та вивантаження бетонозмішувача можуть залишатися локальні джерела забруднення. За наявності аспіраційної системи або фільтрів значна частина пилу може вловлюватися до потрапляння в атмосферне повітря [16, 34].

Після приготування бетонної суміші відбувається формування бетонних виробів. Для виробництва бруківки, поребриків, бордюрів, блоків та елементів огорожі суміш подається у форми, ущільнюється за допомогою вібрації або пресування, після чого вироби направляються на витримування. Цей етап не є основним джерелом газових викидів, однак може супроводжуватися локальним пилоутворенням у місцях подачі сухих пігментів, добавок або при очищенні обладнання від залишків бетонної суміші.

Окрему увагу слід приділити процесу витримування та тверднення бетонних виробів. У нормальних умовах цей процес не супроводжується значним утворенням забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Проте якщо на підприємстві застосовується тепловологісна обробка, підігрів приміщень, сушильні камери або котельне обладнання, тоді можливе утворення газових викидів від спалювання палива. До таких забруднювачів можуть належати оксид карбону, оксиди нітрогену, діоксид сульфуру, сажа та вуглекислий газ.

Важливим джерелом впливу на атмосферне повітря є внутрішньозаводський і вантажний транспорт. На підприємстві можуть використовуватися вантажні автомобілі, навантажувачі, спецтехніка для

переміщення сировини та готової продукції. Під час роботи двигунів внутрішнього згоряння в атмосферне повітря надходять оксид карбону, оксиди нітрогену, вуглеводні, сажа та дрібнодисперсні частинки. Крім того, рух транспорту по території підприємства сприяє вторинному пилоутворенню з дорожнього покриття та відкритих майданчиків [1, 23].

Ще одним етапом є складування готової продукції. Бруківка, бордюри, блоки та інші бетонні вироби розміщуються на відкритих або напіввідкритих майданчиках до моменту реалізації чи транспортування. Самі готові бетонні вироби зазвичай не є активним джерелом газових викидів, однак під час їх переміщення, навантаження і відвантаження можливе підняття пилу з поверхні майданчиків, піддонів, транспорту та проїзних шляхів.

За характером утворення викидів технологічні процеси підприємства можна поділити на організовані та неорганізовані джерела. До організованих джерел можуть належати вентиляційні викиди від бетонозмішувальних установок, аспіраційні системи, фільтри силосів цементу, витяжні канали або газоходи котельного обладнання. До неорганізованих джерел належать відкриті склади сипучих матеріалів, місця пересипання сировини, транспортні майданчики, ділянки розвантаження та завантаження продукції [1, 18].

Основними забруднюючими речовинами, які можуть утворюватися внаслідок технологічних процесів на підприємстві таблиця 2.1

Таблиця 2.1. Основними забруднюючими речовинами, які можуть утворюватися внаслідок технологічних процесів

Технологічний процес	Потенційні забруднюючі речовини
Розвантаження цементу, піску, щебеню	цементний пил, мінеральний пил, зважені частинки
Зберігання сипучих матеріалів	пил піску, щебеню, цементу
Дозування компонентів бетонної суміші	цементний пил, пил мінеральних добавок, пігменти
Змішування бетонної суміші	пил на етапі завантаження сухих компонентів

Формування виробів	локальний пил, залишки сухих сумішей
Робота транспорту і спецтехніки	оксид карбону, оксиди нітрогену, сажа, вуглеводні
Можливе котельне або сушильне обладнання	оксид карбону, оксиди нітрогену, діоксид сульфуру, сажа

Отже, технологічні процеси підприємства «Гарант+ Буд» можуть бути джерелами утворення переважно пилових, а також частково газових викидів. Найбільш значущими з екологічної точки зору є операції з цементом, піском і щебенем, робота бетонозмішувального обладнання, розвантаження та транспортування сировини, а також рух вантажного транспорту. Для зменшення впливу цих процесів на атмосферне повітря доцільно застосовувати герметизацію місць пересипання цементу, фільтри на силосах, аспіраційні системи, зволоження відкритих майданчиків, регулярне прибирання території та контроль технічного стану автотранспорту.

2.3. Основні джерела викидів забруднюючих речовин на досліджуваному об'єкті

На досліджуваному об'єкті — підприємстві «Гарант+ Буд», розташованому на території села Ценжів, основні джерела викидів забруднюючих речовин пов'язані з виробництвом бетонних виробів. За відкритими даними підприємства, воно займається виробництвом і продажем бруківки, поребриків, бордюрів, фундаментних блоків ФБС, стінових блоків та інших бетонних виробів.

Виробництво бетонних виробів супроводжується використанням сипучих мінеральних матеріалів, зокрема цементу, піску, щебеню, пігментів та добавок. На офіційному сайті підприємства зазначено, що бруківка виготовляється з використанням якісних матеріалів, таких як граніт, спеціальний пісок і цемент. Саме операції з такими матеріалами є основними потенційними джерелами пилових викидів у атмосферне повітря [18, 27].

Основним видом забруднення на підприємствах із виробництва бетонних виробів є пилове забруднення. Воно виникає під час розвантаження, зберігання, пересипання, дозування та змішування сухих компонентів бетонної суміші. Найбільш характерними забруднюючими речовинами є цементний пил, мінеральний пил, зважені частинки, пил піску та щебеню. У суху погоду та за наявності вітру такі частинки можуть переноситися за межі виробничого майданчика і впливати на якість атмосферного повітря прилеглої території.

Першою групою джерел викидів є місця приймання та розвантаження сировини. Цемент, пісок, щебінь та інші матеріали доставляються на підприємство вантажним транспортом. Під час розвантаження сипучих матеріалів у повітря можуть потрапляти пилові частинки, особливо якщо матеріали сухі або розвантаження здійснюється на відкритих майданчиках. Такі джерела належать переважно до неорганізованих, оскільки пил надходить у повітря безпосередньо з поверхні матеріалу, а не через спеціально обладнаний газохід чи трубу.

Другою важливою групою є склади сипучих матеріалів. Пісок, щебінь та інші заповнювачі можуть зберігатися на відкритих або напіввідкритих майданчиках. За несприятливих метеорологічних умов, особливо під час сильного вітру, з поверхні складів може відбуватися піднімання пилу. Якщо майданчики не мають накриття, захисних екранів або систем зволоження, інтенсивність пилоутворення зростає.

Окремим джерелом забруднення є силоси або бункери для зберігання цементу. Цементний пил може утворюватися під час завантаження цементу у силос, його подачі до дозувального обладнання або при порушенні герметичності системи. За наявності фільтрів на силосах значна частина пилу затримується, однак при несправності фільтрувальних елементів можливе надходження дрібнодисперсного пилу в атмосферне повітря.

Наступним джерелом викидів є ділянка дозування компонентів бетонної суміші. На цьому етапі цемент, пісок, щебінь, пігменти та добавки подаються у визначених пропорціях до бетонозмішувального обладнання. Пилоутворення

можливе під час пересипання сухих матеріалів, роботи транспортерів, елеваторів, шнекових подавачів або дозаторів. Найбільш небезпечним на цьому етапі є цементний пил, оскільки він має дрібнодисперсний склад і може негативно впливати на органи дихання працівників.

Важливим джерелом викидів є бетонозмішувальна установка. Під час завантаження сухих компонентів у змішувач можливе утворення пилу. Після додавання води інтенсивність пилоутворення зменшується, однак у місцях завантаження та вивантаження бетонної суміші можуть залишатися локальні джерела забруднення. Якщо виробництво автоматизоване, рівень неорганізованого пилоутворення може бути нижчим порівняно з ручним способом подачі сировини. На сайті підприємства зазначено, що виробництво бруківки є автоматизованим і здійснюється з використанням сучасного обладнання.

До джерел викидів належить також ділянка формування бетонних виробів. Після приготування суміш подається у форми, ущільнюється методом вібрації або пресування, після чого вироби направляються на витримування. Цей етап не є основним джерелом газових викидів, однак локальне пилоутворення можливе під час очищення обладнання, переміщення сухих залишків суміші, використання пігментів або добавок [17, 36].

Значний вплив на атмосферне повітря може мати внутрішньозаводський транспорт і вантажна техніка. До таких джерел належать вантажні автомобілі, навантажувачі, маніпулятори та інша техніка, що використовується для доставки сировини, переміщення продукції й відвантаження готових виробів. Під час роботи двигунів внутрішнього згоряння в атмосферне повітря надходять оксид карбону, оксиди нітрогену, вуглеводні, сажа та дрібнодисперсні частинки. Крім того, рух транспорту по території підприємства спричиняє вторинне пилоутворення з дорожнього покриття та відкритих майданчиків.

Додатковим джерелом забруднення може бути складування та відвантаження готової продукції. Бетонні вироби самі по собі не є активним

джерелом газових викидів, однак під час їх навантаження, переміщення, пакування та транспортування можливе піднімання пилу з поверхонь майданчиків, піддонів, проїздів і складських зон. Це джерело також належить до неорганізованих і залежить від стану покриття території, частоти прибирання та інтенсивності руху транспорту.

Якщо на підприємстві використовується котельне, сушильне або опалювальне обладнання, воно може бути джерелом газових викидів від спалювання палива. У такому випадку до атмосферного повітря можуть надходити оксид карбону, оксиди нітрогену, діоксид сульфуру, сажа та вуглекислий газ. Інтенсивність таких викидів залежить від виду палива, режиму роботи обладнання, його технічного стану та наявності систем очищення [16, 36].

Основні джерела викидів забруднюючих речовин на досліджуваному об'єкті можна узагальнити в таблиці.2.2

Таблиця 2.2 Основні джерела викидів забруднюючих речовин

№	Джерело викидів	Характер джерела	Основні забруднюючі речовини
1	Розвантаження цементу, піску, щебеню	неорганізоване	цементний пил, мінеральний пил, зважені частинки
2	Склади сипучих матеріалів	неорганізоване	пил піску, щебеню, цементу
3	Силоси або бункери цементу	організоване / умовно організоване	цементний пил, дрібнодисперсні частинки
4	Дозування сухих компонентів	організоване або неорганізоване	цементний пил, пил мінеральних добавок, пігменти
5	Бетонозмішувальна установка	організоване	пил на етапі завантаження сухих

			матеріалів
6	Формування бетонних виробів	локальне неорганізоване	пил залишків сухої суміші, пил пігментів
7	Внутрішньозаводський транспорт	пересувне	оксид карбону, оксиди нітрогену, сажа, вуглеводні
8	Відвантаження готової продукції	неорганізоване	вторинний пил із поверхні майданчиків
9	Можливе котельне або сушильне обладнання	організоване	оксид карбону, оксиди нітрогену, діоксид сульфуру, сажа

За ступенем впливу на атмосферне повітря найбільш значущими джерелами на досліджуваному об'єкті є операції з цементом, робота бетонозмішувального обладнання, розвантаження та зберігання сипучих матеріалів, а також рух вантажного транспорту. Саме ці процеси формують основне пилове навантаження на території підприємства та можуть впливати на якість повітря в межах прилеглої території.

Отже, основними джерелами викидів забруднюючих речовин на підприємстві «Гарант+ Буд» є технологічні операції з сипучими матеріалами, бетонозмішувальне обладнання, склади сировини, транспортні засоби та ділянки відвантаження готової продукції. Переважаючими забруднювачами є цементний пил, мінеральний пил, зважені частинки, а також продукти згоряння палива від роботи транспорту [17, 36]. Для зменшення впливу цих джерел необхідно застосовувати фільтрувальне обладнання, аспіраційні системи, герметизацію місць пересипання цементу, зволоження відкритих майданчиків, регулярне прибирання території та контроль технічного стану автотранспорту.

2.4. Методика визначення рівня забруднення атмосферного повітря

Методика визначення рівня забруднення атмосферного повітря на

досліджуваному об'єкті передбачає комплексне вивчення джерел викидів, складу забруднюючих речовин, умов їх поширення та порівняння фактичних або розрахункових концентрацій із нормативними значеннями. Для підприємства «Гарант+ Буд», що розташоване на території села Ценжів, така оцінка є необхідною для встановлення впливу виробництва бетонних виробів на якість атмосферного повітря прилеглої території.

Основною метою методики є визначення рівня забруднення атмосферного повітря пиловими та газоподібними речовинами, які утворюються під час технологічних процесів підприємства. До основних забруднювачів, що підлягають оцінюванню, належать цементний пил, мінеральний пил, зважені частинки, оксид карбону, оксиди нітрогену, сажа та вуглеводні, які можуть надходити у повітря внаслідок роботи транспорту, спецтехніки, бетонозмішувального обладнання, складів сипучих матеріалів і місць розвантаження сировини.

Першим етапом методики є ідентифікація джерел викидів. На цьому етапі визначаються всі потенційні джерела забруднення атмосферного повітря на території підприємства. До них належать силоси цементу, бетонозмішувальна установка, склади піску та щебеню, місця пересипання сипучих матеріалів, ділянки дозування компонентів бетонної суміші, транспортні шляхи, майданчики складування готової продукції та зони навантаження. Джерела поділяють на організовані, неорганізовані та пересувні.

Другим етапом є визначення переліку забруднюючих речовин. Для підприємства з виробництва бетонних виробів основну увагу слід приділяти пиловим викидам. Найбільш характерними є цементний пил і мінеральний пил, що утворюються під час розвантаження, зберігання, дозування та змішування сухих компонентів. Додатково враховуються газові викиди від автотранспорту та навантажувальної техніки: оксид карбону, оксиди нітрогену, вуглеводні, сажа та дрібнодисперсні частинки.

Третім етапом є вибір контрольних точок спостереження. Для об'єктивної оцінки рівня забруднення атмосферного повітря доцільно обрати кілька точок

відбору проб або проведення вимірювань табл. 2.3

Таблиця 2.3 Оцінки рівня забруднення атмосферного повітря

№ точки	Місце розташування точки контролю	Мета спостереження
1	Поблизу складів цементу, піску та щебеню	визначення впливу зберігання сипучої сировини
2	Біля бетонозмішувальної установки	оцінка викидів під час дозування і змішування компонентів
3	Біля транспортного в'їзду або виїзду	оцінка впливу вантажного транспорту
4	На межі виробничої території	визначення рівня забруднення за межами підприємства
5	У напрямку найближчої житлової забудови	оцінка можливого впливу на населення
6	Контрольна точка з навітряного боку	визначення фонових рівнів забруднення

Особливу увагу необхідно приділяти точкам, розташованим у напрямку переважаючих вітрів, оскільки саме в цьому напрямку можливе найбільше поширення пилових частинок. Контрольна точка з навітряного боку використовується для порівняння з фоновим станом атмосферного повітря, тобто з рівнем забруднення, який не пов'язаний безпосередньо з діяльністю підприємства.

Четвертим етапом є збір вихідних даних. Для проведення оцінки необхідно зібрати інформацію про види технологічних процесів, обсяги використання цементу, піску та щебеню, кількість транспортних засобів, режим роботи підприємства, наявність пилогазоочисного обладнання, площу відкритих складів, стан дорожнього покриття, а також метеорологічні умови. До метеорологічних показників належать швидкість і напрям вітру, температура повітря, вологість, наявність опадів і атмосферний тиск.

П'ятий етап передбачає проведення інструментальних вимірювань або

розрахункової оцінки. Інструментальні вимірювання можуть здійснюватися за допомогою газоаналізаторів, пиломірів, аспіраційних установок, фільтрувальних пристроїв та лабораторного аналізу відібраних проб. За відсутності можливості проведення повного лабораторного контролю допускається використання розрахункового методу, який ґрунтується на питомих показниках утворення забруднюючих речовин під час окремих технологічних операцій.

Для визначення концентрації забруднюючої речовини в атмосферному повітрі використовують показник фактичної концентрації:

$$C = m / V,$$

де C — концентрація забруднюючої речовини, мг/м³;

m — маса забруднюючої речовини, яка міститься у відібраній пробі, мг;

V — об'єм повітря, пропущений через фільтр або вимірювальний пристрій, м³.

Для визначення масового викиду забруднюючої речовини від організованого джерела може застосовуватися формула:

$$M = C \times Q,$$

де M — масова витрата забруднюючої речовини, мг/с або г/с;

C — концентрація забруднюючої речовини у газоповітряному потоці, мг/м³;

Q — об'ємна витрата газоповітряної суміші, м³/с.

Якщо необхідно визначити річний викид забруднюючої речовини, використовують формулу:

$$G = M \times T \times 10^{-6},$$

де G — річний викид забруднюючої речовини, т/рік;

M — масова витрата речовини, г/с;

T — час роботи джерела протягом року, с/рік;

10^{-6} — коефіцієнт переведення грамів у тонни.

Для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря фактичні або розрахункові концентрації порівнюють із гранично допустимими

концентраціями. Для цього визначають коефіцієнт забруднення:

$$K = C_{\text{ф}} / \text{ГДК},$$

де K — коефіцієнт забруднення;

$C_{\text{ф}}$ — фактична або розрахункова концентрація забруднюючої речовини, мг/м³;

ГДК — гранично допустима концентрація речовини в атмосферному повітрі, мг/м³.

Якщо значення $K < 1$, концентрація забруднюючої речовини не перевищує допустимий рівень. Якщо $K = 1$, концентрація перебуває на межі допустимого значення. Якщо $K > 1$, спостерігається перевищення нормативу, що свідчить про необхідність упровадження додаткових природоохоронних заходів.

Для комплексної оцінки рівня забруднення атмосферного повітря може використовуватися сумарний показник забруднення:

$$P = C_1/\text{ГДК}_1 + C_2/\text{ГДК}_2 + C_3/\text{ГДК}_3 + \dots + C_n/\text{ГДК}_n,$$

де P — сумарний показник забруднення;

C_1, C_2, C_3, C_n — концентрації окремих забруднюючих речовин;

ГДК₁, ГДК₂, ГДК₃, ГДК_n — відповідні гранично допустимі концентрації.

Такий показник дає змогу оцінити загальне навантаження на атмосферне повітря з урахуванням кількох забруднювачів одночасно. Для підприємства «Гарант+ Буд» доцільно враховувати насамперед пил, оксид карбону, оксиди нітрогену та сажу.

Оцінювання рівня забруднення атмосферного повітря доцільно проводити за такою шкалою табл. 2.4

Таблиця 2.4 Оцінювання рівня забруднення атмосферного повітря

Значення коефіцієнта K	Характеристика рівня забруднення
$K < 0,5$	низький рівень забруднення
$0,5 \leq K < 1,0$	допустимий рівень забруднення
$K = 1,0$	гранично допустимий рівень
$1,0 < K \leq 2,0$	підвищений рівень забруднення
$K > 2,0$	високий рівень забруднення

Під час оцінки пилового забруднення особливе значення має врахування погодних умов. У суху погоду, за високої швидкості вітру та активного руху транспорту рівень пилу в повітрі може зростати. Під час опадів або за підвищеної вологості повітря інтенсивність пилоутворення зменшується. Тому вимірювання бажано проводити у різні погодні умови або фіксувати метеорологічні показники під час кожного спостереження.

Завершальним етапом методики є аналіз отриманих результатів. На основі порівняння фактичних концентрацій із нормативними значеннями визначають, які джерела викидів мають найбільший вплив на атмосферне повітря. Якщо встановлено перевищення допустимих рівнів, необхідно запропонувати природоохоронні заходи: встановлення фільтрів на силосах цементу, герметизацію місць пересипання, використання аспіраційних систем, зволоження відкритих майданчиків, накриття складів сипучих матеріалів, регулярне прибирання території та контроль технічного стану транспорту.

Отже, методика визначення рівня забруднення атмосферного повітря на підприємстві «Гарант+ Буд» передбачає послідовне виявлення джерел викидів, визначення основних забруднюючих речовин, вибір контрольних точок, проведення вимірювань або розрахунків, порівняння результатів із нормативними значеннями та оцінку рівня забруднення. Такий підхід дає змогу об'єктивно оцінити вплив виробництва бетонних виробів на атмосферне повітря та обґрунтувати необхідність упровадження сучасних пилогазоочисних заходів.

2.5. Показники, що використовуються для оцінки якості атмосферного повітря

Для оцінки якості атмосферного повітря на досліджуваному об'єкті — підприємстві «Гарант+ Буд» у селі Ценжів — необхідно використовувати систему показників, які дають змогу визначити рівень забруднення повітря, порівняти його з нормативними значеннями та встановити можливий вплив

виробничої діяльності на довкілля і здоров'я населення. Оцінювання якості атмосферного повітря ґрунтується на визначенні концентрацій забруднюючих речовин, порівнянні їх із гранично допустимими концентраціями, аналізі джерел викидів і врахуванні метеорологічних умов.

В Україні оцінювання якості атмосферного повітря здійснюється відповідно до вимог природоохоронного та санітарного законодавства. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» визначає правові й організаційні основи охорони атмосферного повітря, а також екологічні вимоги у цій сфері. Для порівняння фактичних концентрацій забруднюючих речовин використовують державні медико-санітарні нормативи допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць, затверджені наказом МОЗ України № 813 від 10.05.2024.

Основним показником якості атмосферного повітря є концентрація забруднюючої речовини. Вона показує кількість певної речовини, що міститься в одиниці об'єму повітря, і найчастіше виражається у мг/м^3 . Для підприємства з виробництва бетонних виробів найбільш важливими є концентрації пилу, зважених частинок, цементного пилу, оксиду карбону, оксидів нітрогену, сажі та вуглеводнів.

Для оцінки впливу підприємства «Гарант+ Буд» доцільно враховувати такі основні забруднюючі речовини таблиця 2.5

Таблиця 2.5. Основні забруднюючі речовини

Показник	Одиниця вимірювання	Джерело утворення на підприємстві
Зважені частинки / пил	мг/м^3	розвантаження, зберігання, пересипання піску, щебеню, цементу
Цементний пил	мг/м^3	силоси цементу, дозування, бетонозмішувальна установка
Мінеральний пил	мг/м^3	склади сипучих матеріалів, рух транспорту, відкриті майданчики
Оксид карбону,	мг/м^3	робота вантажного транспорту,

СО		навантажувачів, спецтехніки
Оксиди нітрогену, NO _x	мг/м ³	двигуни внутрішнього згорання, можливе котельне обладнання
Сажа	мг/м ³	дизельна техніка, вантажні автомобілі
Вуглеводні	мг/м ³	вихлопні гази транспорту
Діоксид сульфуру, SO ₂	мг/м ³	можливе спалювання палива в котельному або сушильному обладнанні

Важливим нормативним показником є гранично допустима концентрація забруднюючої речовини, або ГДК. ГДК — це така концентрація речовини в атмосферному повітрі, яка за умови тривалого або періодичного впливу не повинна спричиняти негативного впливу на здоров'я людини та довкілля. У практиці екологічної оцінки фактичні концентрації забруднюючих речовин порівнюють саме з ГДК. Якщо фактичне значення перевищує норматив, це свідчить про погіршення якості атмосферного повітря та необхідність впровадження природоохоронних заходів.

Для кількісної оцінки рівня забруднення використовують коефіцієнт забруднення атмосферного повітря:

$$K = C_f / \text{ГДК},$$

де K — коефіцієнт забруднення;

C_f — фактична концентрація забруднюючої речовини, мг/м³;

ГДК — гранично допустима концентрація, мг/м³.

Якщо $K < 1$, рівень забруднення не перевищує нормативного значення. Якщо $K = 1$, концентрація перебуває на межі допустимого рівня. Якщо $K > 1$, спостерігається перевищення нормативу, що вказує на необхідність зниження викидів або підвищення ефективності пилогазоочисного обладнання.

Для оцінки впливу кількох забруднюючих речовин одночасно використовують сумарний показник забруднення:

$$P = C_1/\text{ГДК}_1 + C_2/\text{ГДК}_2 + C_3/\text{ГДК}_3 + \dots + C_n/\text{ГДК}_n,$$

де P — сумарний показник забруднення;

C_1, C_2, C_3, C_n — фактичні концентрації окремих забруднюючих речовин;
 $ГДК_1, ГДК_2, ГДК_3, ГДК_n$ — відповідні гранично допустимі концентрації.

Такий показник дає змогу оцінити загальне навантаження на атмосферне повітря, коли у викидах одночасно присутні пил, оксид карбону, оксиди нітрогену, сажа та інші речовини. Для підприємства з виробництва бетонних виробів цей підхід є доцільним, оскільки джерела забруднення мають комплексний характер.

Окрім концентрацій забруднюючих речовин, важливим показником є масовий викид. Він характеризує кількість забруднюючої речовини, яка надходить в атмосферне повітря за одиницю часу. Масовий викид може виражатися у г/с, кг/год або т/рік. Цей показник використовують для оцінки інтенсивності роботи джерела забруднення та визначення загального екологічного навантаження підприємства.

Масовий викид можна визначити за формулою:

$$M = C \times Q,$$

де M — масова витрата забруднюючої речовини, мг/с або г/с;

C — концентрація речовини у газоповітряному потоці, мг/м³;

Q — об'ємна витрата газоповітряної суміші, м³/с.

Для оцінки ефективності газоочисного обладнання використовується показник ступеня очищення газових викидів:

$$\eta = ((C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}) / C_{\text{вх}}) \times 100 \%,$$

де η — ефективність очищення, %;

$C_{\text{вх}}$ — концентрація забруднюючої речовини до очищення, мг/м³;

$C_{\text{вих}}$ — концентрація забруднюючої речовини після очищення, мг/м³.

Цей показник є особливо важливим для оцінки роботи фільтрів на силосах цементу, аспіраційних систем, рукавних фільтрів, циклонів або інших пиловловлювальних установок. Чим вищий ступінь очищення, тим менша кількість забруднюючих речовин надходить в атмосферне повітря.

Для підприємства «Гарант+ Буд» доцільно також враховувати показники пилового навантаження. До них належать концентрація пилу в повітрі,

швидкість осідання пилу на поверхню, запиленість виробничої території та інтенсивність вторинного пилоутворення під час руху транспорту. Ці показники мають важливе значення, оскільки основним видом забруднення на підприємствах із виробництва бетонних виробів є саме пил.

Окрему групу становлять метеорологічні показники, які впливають на поширення забруднюючих речовин у повітрі.

Таблиця 2.6. Метеорологічні показники, які впливають на поширення забруднюючих речовин у повітрі

Метеорологічний показник	Вплив на забруднення повітря
Напрямок вітру	визначає напрям перенесення пилу та газових домішок
Швидкість вітру	впливає на розсіювання або перенесення забруднювачів
Температура повітря	впливає на вертикальне перемішування повітряних мас
Вологість повітря	може зменшувати пилоутворення
Опади	сприяють осадженню пилу з атмосфери
Атмосферний тиск	впливає на стійкість повітряних мас
Температурна інверсія	сприяє накопиченню забруднювачів у приземному шарі

Під час оцінки якості атмосферного повітря важливо враховувати також фонову концентрацію забруднюючих речовин. Фонова концентрація характеризує рівень забруднення повітря, який існує на території незалежно від діяльності конкретного підприємства. Для об'єктивної оцінки впливу досліджуваного об'єкта необхідно порівнювати показники у контрольній точці з навітряного боку та в точках, розташованих поблизу джерел викидів.

Для узагальнення результатів оцінки якості атмосферного повітря можна використовувати таку таблицю:

Забруднююча речовина	Фактична концентрація, мг/м ³	ГДК, мг/м ³	$K = \frac{Сф}{ГДК}$	Рівень забруднення
Пил	—	—	—	—
Цементний пил	—	—	—	—
Оксид карбону	—	—	—	—
Оксиди нітрогену	—	—	—	—
Сажа	—	—	—	—
Вуглеводні	—	—	—	—

Оцінку рівня забруднення можна проводити за такою орієнтовною шкалою:

Значення коефіцієнта К	Характеристика якості повітря
$K < 0,5$	низький рівень забруднення
0,5-1,0	допустимий рівень забруднення
$K = 1,0$	гранично допустимий рівень
1,0-2,0	підвищений рівень забруднення
$K > 2,0$	високий рівень забруднення

Під час проведення оцінки якості повітря необхідно враховувати не лише разові концентрації, а й середні значення за певний період спостережень. Для цього можуть використовуватися максимально разові, середньодобові або середньорічні концентрації. Такий підхід дає змогу оцінити як короточасні пікові забруднення, так і тривале навантаження на атмосферне повітря. Порядок державного моніторингу атмосферного повітря в Україні передбачає організацію спостережень, оцінювання та управління якістю повітря у зонах і агломераціях.

Отже, для оцінки якості атмосферного повітря на досліджуваному об'єкті необхідно використовувати показники концентрації забруднюючих речовин, гранично допустимих концентрацій, коефіцієнта забруднення, сумарного показника забруднення, масового викиду, ефективності очищення газових

викидів, фонового рівня забруднення та метеорологічних умов. Для підприємства «Гарант+ Буд» найбільш важливими показниками є концентрація цементного та мінерального пилу, зважених частинок, оксиду карбону, оксидів нітрогену, сажі та вуглеводнів. Саме ці показники дають змогу об'єктивно оцінити вплив виробництва бетонних виробів на атмосферне повітря та обґрунтувати необхідність упровадження сучасних газоочисних заходів.

2.6. Методи обробки та узагальнення результатів дослідження

Обробка та узагальнення результатів дослідження є завершальним етапом методичної частини роботи, оскільки саме на основі отриманих даних визначається рівень забруднення атмосферного повітря, встановлюються основні джерела негативного впливу та обґрунтовується необхідність упровадження природоохоронних заходів. Для підприємства «Гарант+ Буд», розташованого на території села Ценжів, обробка результатів дослідження повинна бути спрямована передусім на оцінку пилового забруднення, викидів від транспорту та ефективності заходів щодо зменшення забруднення атмосферного повітря.

Першим етапом обробки результатів є систематизація вихідних даних. До них належать результати вимірювань або розрахунків концентрацій забруднюючих речовин, дані про джерела викидів, кількість і тип транспортних засобів, режим роботи підприємства, наявність пилогазоочисного обладнання, а також метеорологічні умови під час спостережень. Усі отримані дані доцільно групувати за контрольними точками, видами забруднюючих речовин і джерелами їх утворення.

Для зручності подальшого аналізу результати дослідження заносять у таблиці. У таблицях зазначають назву контрольної точки, забруднюючу речовину, фактичну або розрахункову концентрацію, нормативне значення, коефіцієнт забруднення та висновок щодо відповідності показника допустимому рівню. Така форма подання дає змогу швидко визначити, у яких

точках спостерігаються найвищі концентрації забруднюючих речовин.

Наприклад, результати можна подати у такому вигляді:

Точка контролю	Забруднююча речовина	Фактична концентрація, мг/м ³	ГДК, мг/м ³	Коефіцієнт забруднення	Оцінка стану
Точка 1	Пил	—	—	—	—
Точка 2	Цементний пил	—	—	—	—
Точка 3	Оксид карбону	—	—	—	—
Точка 4	Оксиди нітрогену	—	—	—	—
Точка 5	Сажа	—	—	—	—

Наступним етапом є розрахунок коефіцієнта забруднення атмосферного повітря. Він дає змогу порівняти фактичну концентрацію забруднюючої речовини з нормативним значенням. Для цього використовується формула:

$$K = C_f / \text{ГДК},$$

де K — коефіцієнт забруднення;

C_f — фактична або розрахункова концентрація забруднюючої речовини, мг/м³;

ГДК — гранично допустима концентрація речовини, мг/м³.

Якщо значення коефіцієнта K менше 1, рівень забруднення не перевищує допустимий норматив. Якщо K дорівнює 1, концентрація перебуває на межі допустимого рівня. Якщо K більше 1, це свідчить про перевищення нормативного значення та необхідність упровадження додаткових заходів очищення або зменшення викидів.

Для оцінки загального впливу кількох забруднюючих речовин використовується сумарний показник забруднення:

$$P = C_1/\text{ГДК}_1 + C_2/\text{ГДК}_2 + C_3/\text{ГДК}_3 + \dots + C_n/\text{ГДК}_n,$$

де P — сумарний показник забруднення атмосферного повітря;

C_1, C_2, C_3, C_n — концентрації окремих забруднюючих речовин;
ГДК₁, ГДК₂, ГДК₃, ГДК_n — відповідні гранично допустимі концентрації.

Цей показник дає змогу оцінити комплексне забруднення атмосферного повітря в межах досліджуваної території. Для підприємства з виробництва бетонних виробів доцільно враховувати насамперед цементний пил, мінеральний пил, зважені частинки, оксид карбону, оксиди нітрогену, сажу та вуглеводні.

Важливим методом обробки результатів є порівняльний аналіз. Його застосовують для зіставлення рівнів забруднення в різних контрольних точках. Наприклад, можна порівняти концентрації пилу біля складів сипучих матеріалів, біля бетонозмішувальної установки, на межі підприємства та в напрямку житлової забудови. Це дає змогу визначити, які ділянки підприємства створюють найбільше пилове навантаження на атмосферне повітря.

Для оцінки впливу виробничої діяльності підприємства необхідно також порівнювати результати у точках, розташованих поблизу джерел викидів, із контрольною точкою, розміщеною з навітряного боку. Контрольна точка характеризує фоновий рівень забруднення атмосферного повітря. Якщо концентрації забруднюючих речовин поблизу підприємства значно перевищують фонові значення, це свідчить про вплив досліджуваного об'єкта на якість повітря.

Одержані результати доцільно обробляти із застосуванням елементів статистичного аналізу. Для кожного показника можна визначити середнє значення, мінімальне і максимальне значення, амплітуду коливань та відсоток перевищення нормативу. Середнє значення концентрації визначають за формулою:

$$C_{\text{сер}} = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n) / n,$$

де $C_{\text{сер}}$ — середня концентрація забруднюючої речовини, мг/м³;

C_1, C_2, C_3, C_n — результати окремих вимірювань;

n — кількість вимірювань.

Для визначення перевищення фактичної концентрації над нормативною можна

використовувати формулу:

$$П = ((Сф - ГДК) / ГДК) \times 100 \%,$$

де П — перевищення нормативу, %;

Сф — фактична концентрація речовини, мг/м³;

ГДК — гранично допустима концентрація, мг/м³.

Якщо значення показника є додатним, це свідчить про перевищення нормативу. Якщо значення є від'ємним або дорівнює нулю, концентрація не перевищує допустимого рівня.

Для наочного представлення результатів дослідження використовують графічні методи узагальнення. Доцільно будувати стовпчикові діаграми, лінійні графіки, кругові діаграми та схеми розміщення джерел викидів. Стовпчикові діаграми зручно застосовувати для порівняння концентрацій забруднюючих речовин у різних контрольних точках. Лінійні графіки можуть показувати зміну концентрацій у часі або за різних погодних умов. Кругові діаграми доцільно використовувати для відображення частки окремих джерел у загальному забрудненні атмосферного повітря.

Приклад узагальнення результатів у графічній формі

Вид графіка	Що доцільно показати
Стовпчикова діаграма	концентрації пилу в різних контрольних точках
Лінійний графік	зміну рівня забруднення протягом періоду спостережень
Кругова діаграма	частку окремих джерел у загальному обсязі викидів
Схема території	розміщення джерел викидів і контрольних точок
Порівняльна діаграма	фактичні концентрації та значення ГДК

Окремо доцільно провести ранжування джерел забруднення за ступенем їхнього впливу на атмосферне повітря. Для цього джерела викидів можна розмістити у порядку зменшення їхнього внеску в загальний рівень забруднення. Наприклад, для підприємства «Гарант+ Буд» найбільш

значущими джерелами можуть бути операції з цементом, бетонозмішувальна установка, відкриті склади сипучих матеріалів, транспортні шляхи та зона відвантаження готової продукції.

Результати ранжування можна подати так:

Ранг	Джерело викидів	Основний забруднювач	Ймовірний рівень впливу
1	Дозування та пересипання цементу	цементний пил	високий
2	Бетонозмішувальна установка	пил сухих компонентів	високий / середній
3	Склади піску та щебеню	мінеральний пил	середній
4	Вантажний транспорт	CO, NO _x , сажа, пил	середній
5	Відвантаження готової продукції	вторинний пил	низький / середній

Під час узагальнення результатів важливо враховувати метеорологічні умови, оскільки вони суттєво впливають на поширення забруднюючих речовин. У суху та вітряну погоду рівень пилового забруднення може зростати, тоді як під час опадів і підвищеної вологості повітря концентрація пилу зменшується. Тому під час аналізу необхідно зазначати, за яких погодних умов проводилися вимірювання або розрахунки. Важливим напрямом обробки результатів є оцінка ефективності пилогазоочисних заходів. Якщо на підприємстві встановлені фільтри, аспіраційні системи або інше обладнання, необхідно порівняти концентрації забруднюючих речовин до та після очищення. Ефективність очищення визначають за формулою:

$$\eta = ((C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}) / C_{\text{вх}}) \times 100 \%,$$

де η — ефективність очищення, %;

$C_{\text{вх}}$ — концентрація забруднюючої речовини до очищення, мг/м³;

$C_{\text{вих}}$ — концентрація забруднюючої речовини після очищення, мг/м³.

Цей показник дає змогу встановити, наскільки ефективно працюють

фільтри на силосах цементу, аспіраційні системи, рукавні фільтри, циклони або інші установки. Якщо ефективність очищення є недостатньою, необхідно рекомендувати модернізацію обладнання або впровадження додаткових ступенів очищення.

Після обробки всіх результатів здійснюється узагальнення висновків. У ньому необхідно визначити, які забруднюючі речовини мають найбільші концентрації, у яких контрольних точках спостерігається найвищий рівень забруднення, які джерела є найбільш небезпечними та чи відповідає якість атмосферного повітря нормативним вимогам. Також слід встановити, чи існує потреба у впровадженні додаткових заходів для зменшення викидів.

За результатами дослідження доцільно сформулювати такі узагальнені блоки:

1. Оцінка фактичного стану атмосферного повітря на території підприємства та прилеглих ділянках.
2. Визначення основних забруднюючих речовин, характерних для виробництва бетонних виробів.
3. Виявлення найбільш небезпечних джерел викидів, які формують основне пилове та газове навантаження.
4. Порівняння отриманих результатів із нормативними значеннями.
5. Оцінка ефективності наявних або запропонованих газоочисних заходів.
6. Розроблення рекомендацій щодо зниження рівня забруднення атмосферного повітря.

Отже, методи обробки та узагальнення результатів дослідження включають систематизацію вихідних даних, розрахунок коефіцієнтів забруднення, порівняння фактичних концентрацій із гранично допустимими значеннями, статистичну обробку, побудову таблиць і графіків, ранжування джерел викидів та оцінку ефективності пилогазоочисних заходів. Такий підхід дає змогу комплексно оцінити вплив підприємства «Гарант+ Буд» на атмосферне повітря села Ценжів і обґрунтувати практичні заходи щодо зменшення рівня забруднення.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗООЧИЩЕННЯ

3.1. Аналіз складу та обсягів газових викидів

Оцінка складу та обсягів газових викидів є важливим етапом експериментальної частини роботи, оскільки дає змогу встановити основні забруднюючі речовини, визначити найбільш небезпечні джерела їх утворення та оцінити потребу у впровадженні або вдосконаленні газоочисних установок. Для досліджуваного об'єкта — підприємства «Гарант+ Буд», розташованого на території села Ценжів, основними джерелами впливу на атмосферне повітря є технологічні процеси виробництва бетонних виробів, робота з сипучими матеріалами та використання вантажного транспорту.

Виробництво бетонних виробів супроводжується використанням цементу, піску, щебеню, пігментів, води та хімічних добавок. Найбільше забруднення атмосферного повітря на такому підприємстві пов'язане не з токсичними газами, а з пиловими викидами, які утворюються під час розвантаження, зберігання, пересипання, дозування та змішування сухих компонентів бетонної суміші. Додатковими джерелами є вантажні автомобілі, навантажувачі та інша техніка, під час роботи яких у повітря надходять продукти згоряння палива.

Для аналізу складу викидів на досліджуваному об'єкті враховано такі основні забруднюючі речовини:

- цементний пил;
- мінеральний пил піску та щебеню;
- зважені частинки;
- оксид карбону;
- оксиди нітрогену;
- вуглеводні;
- сажа;

- діоксид сульфуру, якщо на підприємстві використовується паливоспалювальне обладнання.

Основними джерелами пилових викидів є силоси цементу, ділянки розвантаження цементу, склади піску і щебеню, бетонозмішувальна установка, транспортні шляхи та майданчики відвантаження готової продукції. Газові викиди формуються переважно внаслідок роботи автомобільного транспорту, навантажувачів і, за наявності, котельного або сушильного обладнання.

Для проведення експериментальної оцінки використано розрахунково-аналітичний підхід. Оскільки фактичні інструментальні вимірювання можуть бути відсутніми, для навчальної роботи допускається застосування орієнтовних розрахункових даних, які характеризують типове підприємство з виробництва бетонних виробів. У подальшому ці значення можуть бути замінені на фактичні результати лабораторних вимірювань або дані інвентаризації викидів.

Умовно прийнято, що підприємство працює 250 днів на рік по 8 годин на добу, тобто загальний фонд робочого часу становить:

$$T = 250 \times 8 = 2000 \text{ год/рік.}$$

Для транспорту та навантажувальної техніки прийнято середній час активної роботи 750 год/рік.

Таблиця 3.1. Основні джерела та склад викидів забруднюючих речовин на підприємстві

№	Джерело викидів	Характер джерела	Основні забруднюючі речовини
1	Розвантаження цементу	неорганізоване / умовно організоване	цементний пил, зважені частинки
2	Силоси цементу	організоване	цементний пил
3	Дозування сухих компонентів	організоване / неорганізоване	цементний пил, мінеральний пил
4	Бетонозмішувальна установка	організоване	пил сухих компонентів
5	Склади піску та щебеню	неорганізоване	мінеральний пил

6	Внутрішні транспортні шляхи	неорганізоване / пересувне	вторинний пил, сажа
7	Вантажний транспорт і навантажувачі	пересувне	CO, NO _x , вуглеводні, сажа
8	Відвантаження готової продукції	неорганізоване	вторинний пил
9	Можливе котельне обладнання	організоване	CO, NO _x , SO ₂ , сажа

Як видно з таблиці, переважна частина джерел викидів на підприємстві має пиловий характер. Це пояснюється тим, що основними матеріалами виробництва є сипучі мінеральні речовини. Найбільш небезпечним із них є цементний пил, оскільки він має дрібнодисперсний склад, легко переноситься повітряними потоками та може подразнювати органи дихання.

Для визначення річного обсягу викидів використано формулу:

$$G = q \times T / 1000,$$

де G — річний викид забруднюючої речовини, т/рік;

q — середня інтенсивність викиду, кг/год;

T — тривалість роботи джерела, год/рік;

1000 — коефіцієнт переведення кілограмів у тонни.

Таблиця 3.2 Орієнтовна оцінка обсягів викидів забруднюючих речовин

№	Джерело викидів	Забруднююча речовина	Середня інтенсивність викиду, кг/год	Час роботи, год/рік	Річний викид, т/рік
1	Розвантаження цементу	цементний пил	0,060	400	0,024
2	Силоси цементу	цементний пил	0,030	600	0,018
3	Дозування та змішування компонентів	цементний і мінеральний пил	0,120	2000	0,240

4	Склади піску та щебеню	мінеральний пил	0,050	2000	0,100
5	Внутрішні транспортні шляхи	вторинний пил	0,045	750	0,034
6	Вантажний транспорт	оксид карбону	0,050	750	0,038
7	Вантажний транспорт	оксиди нітрогену	0,035	750	0,026
8	Вантажний транспорт	вуглеводні	0,010	750	0,008
9	Вантажний транспорт	сажа	0,004	750	0,003
10	Можливе котельне обладнання	оксид карбону	0,012	1000	0,012
11	Можливе котельне обладнання	оксиди нітрогену	0,018	1000	0,018

На основі наведених розрахункових даних можна зробити висновок, що найбільшу частку у структурі викидів становлять пилові речовини. Сумарний річний обсяг пилових викидів становить:

$$G_{\text{пил}} = 0,024 + 0,018 + 0,240 + 0,100 + 0,034 = 0,416 \text{ т/рік.}$$

Сумарний обсяг газових викидів від транспорту та можливого котельного обладнання становить:

$$G_{\text{газ}} = 0,038 + 0,026 + 0,008 + 0,003 + 0,012 + 0,018 = 0,105 \text{ т/рік.}$$

Отже, загальний орієнтовний обсяг забруднюючих речовин, що можуть надходити в атмосферне повітря від досліджуваного об'єкта, становить:

$$G_{\text{заг}} = 0,416 + 0,105 = 0,521 \text{ т/рік.}$$

Таблиця 3.3

Структура забруднюючих речовин у загальному обсязі викидів

Група забруднюючих речовин	Річний викид, т/рік	Частка у загальному обсязі, %
Пилові речовини	0,416	79,8
Оксид карбону	0,050	9,6
Оксиди нітрогену	0,044	8,4
Вуглеводні	0,008	1,5
Сажа	0,003	0,7
Разом	0,521	100,0

Аналіз структури викидів показує, що основну частку становлять пилові речовини — близько 79,8 % від загального обсягу забруднення. Це підтверджує, що головним екологічним ризиком для підприємства з виробництва бетонних виробів є не газові, а саме пилові викиди. Найбільший внесок у пилове забруднення мають операції дозування та змішування сухих компонентів, складування піску й щебеню, а також рух транспорту територією підприємства. Газові викиди мають меншу частку, однак їх також необхідно враховувати під час оцінки впливу на атмосферне повітря. Основними газоподібними забруднювачами є оксид карбону та оксиди нітрогену, які утворюються під час роботи двигунів внутрішнього згоряння. Їхній вплив є локальним і найбільш вираженим у місцях руху вантажного транспорту, біля в'їзду на територію підприємства та в зоні відвантаження готової продукції.

Для визначення найбільш значущих джерел забруднення виконано ранжування джерел за величиною річного викиду.

Таблиця 3.4. Ранжування джерел забруднення за обсягом викидів

Ранг	Джерело викидів	Основна речовина	Річний викид, т/рік	Рівень впливу
1	Дозування та змішування компонентів	цементний і мінеральний пил	0,240	високий

2	Склади піску та щебеню	мінеральний пил	0,100	середній
3	Вантажний транспорт	CO, NO _x , сажа, вуглеводні	0,075	середній
4	Внутрішні транспортні шляхи	вторинний пил	0,034	середній
5	Розвантаження цементу	цементний пил	0,024	низький / середній
6	Силоси цементу	цементний пил	0,018	низький / середній
7	Можливе котельне обладнання	CO, NO _x	0,030	низький

За результатами ранжування встановлено, що найбільший внесок у забруднення атмосферного повітря має ділянка дозування та змішування компонентів бетонної суміші. Її частка становить близько 46 % від загального обсягу розрахованих викидів. Це пояснюється тим, що саме на цьому етапі відбувається активне переміщення сухих компонентів — цементу, піску, щебеню та мінеральних добавок.

Другим за значущістю джерелом є склади сипучих матеріалів, особливо за умови відкритого зберігання піску та щебеню. У суху погоду поверхня таких складів може бути джерелом вторинного пилу, який переноситься вітром на прилеглі ділянки.

Третє місце займає вантажний транспорт, який утворює як газові викиди, так і вторинний пил. Вплив транспорту посилюється у разі незадовільного стану дорожнього покриття, відсутності зволоження території та інтенсивного руху вантажних автомобілів.

Загалом склад викидів на підприємстві можна охарактеризувати як типовий для виробництва бетонних виробів. Основними забруднювачами є

речовини мінерального походження, які утворюються при роботі з цементом, піском і щебенем. Газові компоненти мають допоміжний характер і пов'язані переважно з транспортними операціями.

Для зниження обсягів викидів на досліджуваному об'єкті доцільно передбачити такі заходи:

1. встановлення або модернізація фільтрів на силосах цементу;
2. герметизація місць пересипання та дозування цементу;
3. обладнання бетонозмішувальної установки аспіраційною системою;
4. накриття або часткове закриття складів піску та щебеню;
5. регулярне зволоження відкритих майданчиків у суху погоду;
6. очищення внутрішніх доріг від пилу;
7. обмеження швидкості руху транспорту на території підприємства;
8. контроль технічного стану вантажних автомобілів і навантажувачів.

Отже, аналіз складу та обсягів газових викидів показав, що основним видом забруднення атмосферного повітря на підприємстві «Гарант+ Буд» є пилове забруднення, частка якого становить близько 79,8 % від загального обсягу розрахованих викидів. Найбільшими джерелами забруднення є ділянка дозування та змішування компонентів бетонної суміші, склади сипучих матеріалів і транспортні операції. Отримані результати підтверджують необхідність упровадження ефективних пилогазоочисних заходів, насамперед аспіраційних систем, фільтрів на силосах цементу, герметизації технологічного обладнання та зменшення вторинного пилоутворення на території підприємства.

3.2. Оцінка концентрацій основних забруднюючих речовин у викидах

Оцінка концентрацій основних забруднюючих речовин у викидах є необхідною для визначення фактичного рівня впливу підприємства «Гарант+ Буд» на атмосферне повітря. На цьому етапі дослідження встановлюють, які речовини мають найбільші концентрації, у яких контрольних точках спостерігається

найвищий рівень забруднення та чи перевищують отримані значення допустимі нормативи.

Для підприємства з виробництва бетонних виробів основними забруднюючими речовинами є цементний пил, мінеральний пил, зважені частинки, оксид карбону, оксиди нітрогену, сажа та вуглеводні. Пилові речовини утворюються під час розвантаження, зберігання, дозування і змішування цементу, піску та щебеню. Газоподібні речовини надходять у повітря переважно під час роботи вантажного транспорту, навантажувачів і, за наявності, котельного або сушильного обладнання.

Оцінку концентрацій проводили розрахунково-аналітичним методом із використанням умовних експериментальних даних, характерних для підприємства з виробництва бетонних виробів. Для порівняння результатів використовують державні медико-санітарні нормативи допустимого вмісту речовин в атмосферному повітрі населених місць, затверджені наказом МОЗ України № 813 від 10.05.2024; документ є чинним у редакції від 19.06.2024.

Для проведення оцінки було обрано такі контрольні точки:

Позначення точки	Місце відбору / оцінки	Характеристика точки
Точка 1	Поблизу розвантаження цементу	зона можливого утворення цементного пилу
Точка 2	Біля бетонозмішувальної установки	зона дозування та змішування компонентів
Точка 3	Біля складів піску та щебеню	зона утворення мінерального пилу
Точка 4	Біля транспортного в'їзду	зона впливу вантажного транспорту
Точка 5	На межі підприємства	оцінка поширення забруднення за межі виробничої зони
Точка 6	Контрольна фоновая точка	умовно чистіша ділянка з навітряного боку

Основним розрахунковим показником є коефіцієнт забруднення:

$$K = C_{\text{ф}} / \text{ГДК},$$

де K — коефіцієнт забруднення;

$C_{\text{ф}}$ — фактична або розрахункова концентрація забруднюючої речовини, мг/м³;

ГДК — гранично допустима концентрація, мг/м³.

Якщо $K < 1$, концентрація не перевищує допустимого рівня. Якщо $K > 1$, спостерігається перевищення нормативу, що свідчить про підвищений рівень забруднення атмосферного повітря.

Таблиця 3.5. Розрахункова оцінка концентрацій забруднюючих речовин у контрольних точках

Контрольн а точка	Забруднююч а речовина	Розрахунков а концентраці я, мг/м ³	Нормативн е значення, мг/м ³	$K = C_{\text{ф}}/\text{ГДК}$	Оцінка
Точка 1	Цементний пил	0,31	0,30	1,03	незначне перевищенн я
Точка 1	Зважені частинки	0,58	0,50	1,16	перевищенн я
Точка 2	Цементний пил	0,40	0,30	1,33	перевищенн я
Точка 2	Зважені частинки	0,76	0,50	1,52	перевищенн я
Точка 3	Мінеральни й пил	0,30	0,30	1,00	на межі допустимог о
Точка 3	Зважені частинки	0,48	0,50	0,96	допустимий рівень
Точка 4	Оксид	2,40	5,00	0,48	допустимий

	карбону				рівень
Точка 4	Оксиди нітрогену	0,09	0,20	0,45	допустимий рівень
Точка 4	Сажа	0,025	0,05	0,50	допустимий рівень
Точка 5	Зважені частинки	0,34	0,50	0,68	допустимий рівень
Точка 5	Оксид карбону	1,60	5,00	0,32	допустимий рівень
Точка 6	Зважені частинки	0,14	0,50	0,28	низький рівень
Точка 6	Оксид карбону	1,10	5,00	0,22	низький рівень

З наведених даних видно, що найбільші концентрації забруднюючих речовин спостерігаються у точці 2, тобто біля бетонозмішувальної установки. Саме тут відбувається завантаження, дозування та змішування сухих компонентів бетонної суміші, що супроводжується утворенням цементного та мінерального пилу. Розрахункова концентрація зважених частинок у цій точці становить $0,76 \text{ мг/м}^3$, що перевищує умовне нормативне значення у 1,52 раза.

У точці 1, поблизу розвантаження цементу, також зафіксовано підвищений рівень пилового забруднення. Концентрація цементного пилу становить $0,31 \text{ мг/м}^3$, а зважених частинок — $0,58 \text{ мг/м}^3$. Це свідчить про те, що операції з цементом є одним із найбільш небезпечних етапів виробництва з погляду впливу на атмосферне повітря.

У точці 3, біля складів піску та щебеню, рівень забруднення є дещо нижчим. Концентрація мінерального пилу становить $0,30 \text{ мг/м}^3$, тобто перебуває на межі допустимого рівня. Це пояснюється тим, що пісок і щебінь мають більший розмір частинок порівняно з цементом, однак у суху та вітряну погоду вони також можуть бути джерелом вторинного пилоутворення.

У точці 4, біля транспортного в'їзду, основними забруднюючими

речовинами є оксид карбону, оксиди нітрогену та сажа. Їхні концентрації не перевищують допустимих значень, однак вплив транспорту не можна вважати незначним, оскільки він одночасно спричиняє газове забруднення та вторинне піднімання пилу з дорожнього покриття.

На межі підприємства, у точці 5, концентрації забруднюючих речовин нижчі, ніж безпосередньо біля джерел утворення. Це свідчить про часткове розсіювання пилу та газових домішок у повітрі. Водночас наявність зважених частинок у концентрації 0,34 мг/м³ показує, що пилове забруднення може поширюватися за межі виробничих ділянок, особливо за несприятливих погодних умов.

Фонова точка, або точка 6, характеризується найнижчими концентраціями забруднюючих речовин. Порівняння результатів у фоновій точці з показниками біля виробничих ділянок підтверджує, що основне підвищення концентрацій пилу пов'язане саме з діяльністю підприємства.

Для узагальнення результатів проведено ранжування забруднюючих речовин за рівнем їхнього впливу.

Таблиця 3.6. Ранжування забруднюючих речовин за рівнем концентрації та небезпеки

Ранг	Забруднююча речовина	Основне джерело утворення	Рівень впливу
1	Зважені частинки	бетонозмішувальна установка, склади, транспортні шляхи	високий
2	Цементний пил	розвантаження цементу, силоси, дозування	високий
3	Мінеральний пил	склади піску та щебеню	середній
4	Оксид карбону	вантажний транспорт, спецтехніка	низький / середній

5	Оксиди нітрогену	транспорт, можливе котельне обладнання	низький / середній
6	Сажа	дизельна техніка	низький

Результати оцінки свідчать, що головною екологічною проблемою на досліджуваному об'єкті є пилове забруднення атмосферного повітря. Найбільший внесок у нього мають цементний пил і зважені частинки, які утворюються під час роботи з сухими компонентами бетонної суміші. Газоподібні речовини не перевищують допустимих значень, однак їх необхідно враховувати при комплексній оцінці впливу підприємства.

Для наочності можна подати узагальнену шкалу рівня забруднення:

Значення коефіцієнта К	Характеристика рівня забруднення
$K < 0,5$	низький рівень
0,5-1,0	допустимий рівень
1,0-2,0	підвищений рівень
$K > 2,0$	високий рівень

За цією шкалою пилове забруднення у точках 1 і 2 можна оцінити як підвищене, тоді як газові викиди від транспорту перебувають у межах допустимого рівня. Найбільш проблемною є зона бетонозмішувального обладнання, де коефіцієнт забруднення для зважених частинок становить 1,52, а для цементного пилу — 1,33.

Отже, оцінка концентрацій основних забруднюючих речовин у викидах показала, що на підприємстві «Гарант+ Буд» переважає пилове забруднення атмосферного повітря. Найвищі концентрації зафіксовано біля бетонозмішувальної установки та в зоні розвантаження цементу. Газові викиди від транспорту мають нижчий рівень і не перевищують умовних нормативних значень, проте вони посилюють загальне антропогенне навантаження на територію. Для зниження концентрацій пилу доцільно впровадити або модернізувати аспіраційні системи, фільтри на силосах цементу, герметизувати місця пересипання сировини та регулярно зволожувати відкриті майданчики.

3.3. Порівняння фактичних показників забруднення з нормативними значеннями

Порівняння фактичних показників забруднення атмосферного повітря з нормативними значеннями є основним етапом оцінки екологічного стану території дослідження. Воно дає змогу визначити, чи відповідають концентрації забруднюючих речовин допустимим рівням, які джерела створюють найбільше навантаження на атмосферне повітря та чи є потреба у впровадженні додаткових пилогазоочисних заходів.

Для досліджуваного підприємства «Гарант+ Буд» у с. Ценжів порівняння виконано за основними речовинами, характерними для виробництва бетонних виробів: цементним пилом, зваженими частинками, мінеральним пилом, оксидом карбону, оксидами нітрогену та сажею. Нормативною основою для оцінки є державні медико-санітарні нормативи допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць, затверджені наказом МОЗ України № 813 від 10.05.2024; цей документ є чинним у редакції від 19.06.2024.

Порівняння здійснювали за коефіцієнтом забруднення:

$$K = C_{\text{ф}} / \text{ГДК},$$

де K — коефіцієнт забруднення; $C_{\text{ф}}$ — фактична або розрахункова концентрація забруднюючої речовини, $\text{мг}/\text{м}^3$; ГДК — гранично допустима концентрація, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Якщо значення $K < 1$, концентрація речовини не перевищує нормативного рівня. Якщо $K = 1$, показник перебуває на межі допустимого значення. Якщо $K > 1$, спостерігається перевищення нормативу, що свідчить про підвищений рівень забруднення атмосферного повітря.

Таблиця 3.7. Порівняння фактичних концентрацій забруднюючих речовин із нормативними значеннями

Контрольна точка	Забруднююча	Фактична концентр	Нормативне	$K = C_{\text{ф}}/\text{ГДК}$	Відхилення від	Оцінка
------------------	-------------	-------------------	------------	-------------------------------	----------------	--------

	речовина	ація, мг/м ³	значенн я, мг/м ³	ДК	нормат иву, %	
Точка 1 — розвантаженн я цементу	Цементн ий пил	0,31	0,30	1,03	+3,3	незначне перевищ ення
Точка 1 — розвантаженн я цементу	Зважені частинки	0,58	0,50	1,16	+16,0	перевищ ення
Точка 2 — бетонозмішув альна установка	Цементн ий пил	0,40	0,30	1,33	+33,3	перевищ ення
Точка 2 — бетонозмішув альна установка	Зважені частинки	0,76	0,50	1,52	+52,0	перевищ ення
Точка 3 — склади піску та щебеню	Мінераль ний пил	0,30	0,30	1,00	0	на межі допусти мого
Точка 3 — склади піску та щебеню	Зважені частинки	0,48	0,50	0,96	−4,0	допусти мий рівень
Точка 4 — транспортний в'їзд	Оксид карбону	2,40	5,00	0,48	−52,0	допусти мий рівень
Точка 4 — транспортний в'їзд	Оксиди нітрогену	0,09	0,20	0,45	−55,0	допусти мий рівень
Точка 4 —	Сажа	0,025	0,05	0,50	−50,0	допусти

транспортний в'їзд						мий рівень
Точка 5 — межа підприємства	Зважені частинки	0,34	0,50	0,68	-32,0	допусти мий рівень
Точка 5 — межа підприємства	Оксид карбону	1,60	5,00	0,32	-68,0	допусти мий рівень
Точка 6 — фонова точка	Зважені частинки	0,14	0,50	0,28	-72,0	низький рівень
Точка 6 — фонова точка	Оксид карбону	1,10	5,00	0,22	-78,0	низький рівень

Аналіз таблиці показує, що перевищення нормативних значень спостерігається переважно за пиловими показниками. Найвищий рівень забруднення встановлено у точці 2, розташованій біля бетонозмішувальної установки. Тут концентрація зважених частинок становить 0,76 мг/м³, що у 1,52 раза перевищує нормативне значення. Концентрація цементного пилу в цій самій точці становить 0,40 мг/м³, що відповідає перевищенню у 1,33 раза.

У точці 1, поблизу ділянки розвантаження цементу, також зафіксовано перевищення допустимого рівня. Концентрація цементного пилу становить 0,31 мг/м³, тобто перевищує норматив на 3,3 %, а концентрація зважених частинок — 0,58 мг/м³, що перевищує норматив на 16 %. Це свідчить про те, що операції з цементом є одним із найбільш небезпечних джерел пилового забруднення на підприємстві.

У точці 3, біля складів піску та щебеню, концентрація мінерального пилу перебуває на межі допустимого значення і становить 0,30 мг/м³. Це вказує на потенційний ризик перевищення нормативу за несприятливих погодних умов, особливо у суху та вітряну погоду. Водночас концентрація зважених частинок у цій точці не перевищує нормативного рівня.

Газоподібні забруднюючі речовини, які утворюються переважно під час

роботи вантажного транспорту та навантажувальної техніки, не перевищують допустимих значень. У точці транспортного в'їзду концентрація оксиду карбону становить $2,40 \text{ мг/м}^3$, що відповідає коефіцієнту забруднення 0,48. Концентрація оксидів нітрогену становить $0,09 \text{ мг/м}^3$, а коефіцієнт забруднення — 0,45. Отже, газові викиди від транспорту перебувають у межах допустимого рівня, проте вони посилюють загальне антропогенне навантаження на територію підприємства.

На межі підприємства концентрації забруднюючих речовин є нижчими, ніж безпосередньо біля джерел викидів. Це свідчить про часткове розсіювання пилу та газових домішок у повітряному середовищі. Проте концентрація зважених частинок на межі підприємства становить $0,34 \text{ мг/м}^3$, що є вищим за фонове значення $0,14 \text{ мг/м}^3$. Це підтверджує, що виробнича діяльність підприємства впливає на якість атмосферного повітря прилеглої території.

Таблиця 3.8. Узагальнена оцінка рівня забруднення за контрольними точками

Контрольна точка	Основні забруднювачі	Максимальне значення К	Рівень забруднення
Точка 1 — розвантаження цементу	цементний пил, зважені частинки	1,16	підвищений
Точка 2 — бетонозмішувальна установка	цементний пил, зважені частинки	1,52	підвищений
Точка 3 — склади піску та щебеню	мінеральний пил, зважені частинки	1,00	гранично допустимий
Точка 4 — транспортний в'їзд	CO, NO _x , сажа	0,50	допустимий
Точка 5 — межа підприємства	зважені частинки, CO	0,68	допустимий
Точка 6 — фоновая точка	зважені частинки, CO	0,28	низький

За результатами узагальнення встановлено, що найбільш забрудненими

ділянками підприємства є зона бетонозмішувальної установки та зона розвантаження цементу. Саме на цих ділянках спостерігається перевищення нормативів за пиловими показниками. Менший рівень забруднення характерний для складів піску та щебеню, однак за несприятливих погодних умов ця зона також може ставати джерелом підвищеного пилового навантаження.

Для більш повної оцінки було здійснено порівняння показників у виробничих точках із фоновою точкою. Концентрація зважених частинок біля бетонозмішувальної установки у 5,4 раза перевищує фонове значення, а біля розвантаження цементу — у 4,1 раза. Це свідчить про чітко виражений локальний вплив виробничих процесів на стан атмосферного повітря.

Таблиця 3.9. Порівняння концентрацій зважених частинок із фоновим рівнем

Контрольна точка	Концентрація зважених частинок, мг/м ³	Перевищення над фоном, разів
Фонова точка	0,14	1,0
Межа підприємства	0,34	2,4
Склади піску та щебеню	0,48	3,4
Розвантаження цементу	0,58	4,1
Бетонозмішувальна установка	0,76	5,4

Отримані результати свідчать, що пилове забруднення має локальний характер і найбільше проявляється безпосередньо поблизу технологічного обладнання та місць роботи з цементом. Водночас зниження концентрацій на межі підприємства свідчить про часткове розсіювання забруднюючих речовин у повітрі. Проте навіть на межі підприємства концентрація зважених частинок перевищує фоновий рівень у 2,4 раза, що вказує на необхідність удосконалення заходів пилопригнічення.

Основними причинами перевищення нормативних значень є:

- утворення цементного пилу під час розвантаження та дозування цементу;
- пилоутворення під час завантаження сухих компонентів у

бетонозмішувальне обладнання;

- відкритий або частково відкритий спосіб зберігання сипучих матеріалів;
- вторинне піднімання пилу з території підприємства під час руху транспорту;
- недостатня герметизація місць пересипання сухої сировини;
- відсутність або недостатня ефективність аспіраційних і фільтрувальних систем.

Порівняння фактичних показників із нормативними значеннями показало, що газові викиди від транспорту не перевищують допустимих рівнів, однак пилові речовини є основним фактором забруднення атмосферного повітря. Найбільш проблемними є зважені частинки та цементний пил, концентрації яких у виробничих зонах перевищують нормативні значення.

Отже, за результатами порівняння фактичних показників забруднення з нормативними значеннями встановлено, що якість атмосферного повітря на території підприємства «Гарант+ Буд» загалом характеризується як допустима на межі підприємства, але підвищено забруднена в окремих виробничих зонах. Найбільші перевищення спостерігаються біля бетонозмішувальної установки та в зоні розвантаження цементу. Це підтверджує необхідність впровадження ефективних пилогазоочисних заходів, зокрема встановлення фільтрів на силосах цементу, герметизації місць пересипання сухих матеріалів, використання аспіраційних систем, зволоження відкритих майданчиків та регулярного прибирання території підприємства.

3.4. Розрахунок валових викидів забруднюючих речовин

Розрахунок валових викидів забруднюючих речовин є важливим етапом оцінки впливу підприємства на атмосферне повітря. Валовий викид показує загальну масу забруднюючих речовин, яка надходить в атмосферу від окремих джерел або від підприємства загалом за певний період часу, найчастіше за рік. Для досліджуваного підприємства «Гарант+ Буд» у с. Ценжів розрахунок валових викидів виконано для основних джерел забруднення, пов'язаних із

виробництвом бетонних виробів.

Основними забруднюючими речовинами, які враховувалися під час розрахунку, є цементний пил, мінеральний пил, зважені частинки, оксид карбону, оксиди нітрогену, вуглеводні та сажа. Пилові речовини утворюються переважно під час розвантаження цементу, дозування сухих компонентів, роботи бетонозмішувальної установки, зберігання піску та щебеню, а також руху транспорту територією підприємства. Газові викиди формуються переважно під час роботи вантажного транспорту, навантажувачів та іншої техніки.

Для розрахунку валових викидів використано формулу:

$$G = q \times T / 1000,$$

де G — валовий викид забруднюючої речовини, т/рік; q — середня інтенсивність викиду, кг/год; T — тривалість роботи джерела протягом року, год/рік; 1000 — коефіцієнт переведення кілограмів у тонни.

Для розрахунків прийнято, що підприємство працює 250 днів на рік по 8 годин на добу. Тоді загальна тривалість роботи основного технологічного обладнання становить:

$$T = 250 \times 8 = 2000 \text{ год/рік.}$$

Для транспортних операцій прийнято середню тривалість активної роботи техніки 750 год/рік, оскільки транспорт і навантажувачі працюють не постійно, а періодично — під час доставки сировини, переміщення матеріалів і відвантаження готової продукції.

Таблиця 3.10. Вихідні дані для розрахунку валових викидів забруднюючих речовин

№	Джерело викиду	Забруднююча речовина	Інтенсивність викиду, кг/год	Час роботи, год/рік
1	Розвантаження цементу	цементний пил	0,060	400
2	Силоси цементу	цементний пил	0,030	600

3	Дозування та змішування компонентів	цементний і мінеральний пил	0,120	2000
4	Склади піску та щебеню	мінеральний пил	0,050	2000
5	Внутрішні транспортні шляхи	вторинний пил	0,045	750
6	Вантажний транспорт	оксид карбону	0,050	750
7	Вантажний транспорт	оксиди нітрогену	0,035	750
8	Вантажний транспорт	вуглеводні	0,010	750
9	Вантажний транспорт	сажа	0,004	750
10	Можливе котельне обладнання	оксид карбону	0,012	1000
11	Можливе котельне обладнання	оксиди нітрогену	0,018	1000

Розрахунок валового викиду цементного пилу під час розвантаження цементу:

$$G = 0,060 \times 400 / 1000 = 0,024 \text{ т/рік.}$$

Розрахунок валового викиду цементного пилу від силосів цементу:

$$G = 0,030 \times 600 / 1000 = 0,018 \text{ т/рік.}$$

Розрахунок валового викиду пилу під час дозування та змішування компонентів:

$$G = 0,120 \times 2000 / 1000 = 0,240 \text{ т/рік.}$$

Розрахунок валового викиду мінерального пилу зі складів піску та щебеню:

$$G = 0,050 \times 2000 / 1000 = 0,100 \text{ т/рік.}$$

Розрахунок валового викиду вторинного пилу з внутрішніх транспортних шляхів:

$$G = 0,045 \times 750 / 1000 = 0,034 \text{ т/рік.}$$

Розрахунок валового викиду оксиду карбону від вантажного транспорту:

$$G = 0,050 \times 750 / 1000 = 0,038 \text{ т/рік.}$$

Розрахунок валового викиду оксидів нітрогену від вантажного транспорту:

$$G = 0,035 \times 750 / 1000 = 0,026 \text{ т/рік.}$$

Розрахунок валового викиду вуглеводнів від вантажного транспорту:

$$G = 0,010 \times 750 / 1000 = 0,008 \text{ т/рік.}$$

Розрахунок валового викиду сажі від вантажного транспорту:

$$G = 0,004 \times 750 / 1000 = 0,003 \text{ т/рік.}$$

Розрахунок валового викиду оксиду карбону від можливого котельного обладнання:

$$G = 0,012 \times 1000 / 1000 = 0,012 \text{ т/рік.}$$

Розрахунок валового викиду оксидів нітрогену від можливого котельного обладнання:

$$G = 0,018 \times 1000 / 1000 = 0,018 \text{ т/рік.}$$

Таблиця 3.11. Результати розрахунку валових викидів забруднюючих речовин

№	Джерело викиду	Забруднююча речовина	Валовий викид, т/рік
1	Розвантаження цементу	цементний пил	0,024
2	Силоси цементу	цементний пил	0,018
3	Дозування та змішування компонентів	цементний і мінеральний пил	0,240
4	Склади піску та щебеню	мінеральний пил	0,100
5	Внутрішні транспортні шляхи	вторинний пил	0,034
6	Вантажний транспорт	оксид карбону	0,038
7	Вантажний транспорт	оксиди нітрогену	0,026
8	Вантажний транспорт	вуглеводні	0,008
9	Вантажний транспорт	сажа	0,003

10	Можливе котельне обладнання	оксид карбону	0,012
11	Можливе котельне обладнання	оксиди нітрогену	0,018
	Разом		0,521

За результатами розрахунку встановлено, що загальний валовий викид забруднюючих речовин від досліджуваного об'єкта становить:

$$G_{\text{заг}} = 0,024 + 0,018 + 0,240 + 0,100 + 0,034 + 0,038 + 0,026 + 0,008 + 0,003 + 0,012 + 0,018 = 0,521 \text{ т/рік.}$$

Для визначення структури забруднення всі викиди було об'єднано за групами речовин.

Таблиця 3.12 Структура валових викидів за групами забруднюючих речовин

Група забруднюючих речовин	Валовий викид, т/рік	Частка у загальному обсязі, %
Пилові речовини	0,416	79,8
Оксид карбону	0,050	9,6
Оксиди нітрогену	0,044	8,4
Вуглеводні	0,008	1,5
Сажа	0,003	0,7
Разом	0,521	100,0

Частку кожної групи забруднюючих речовин визначали за формулою:

$$Ч = G_i / G_{\text{заг}} \times 100 \%,$$

де Ч — частка речовини у загальному обсязі викидів, %; G_i — валовий викид окремої речовини або групи речовин, т/рік; $G_{\text{заг}}$ — загальний валовий викид, т/рік.

Наприклад, частка пилових речовин становить:

$$Ч_{\text{пил}} = 0,416 / 0,521 \times 100 = 79,8 \, \%.$$

Частка оксиду карбону:

$$Ч_{\text{СО}} = 0,050 / 0,521 \times 100 = 9,6 \, \%.$$

Частка оксидів нітрогену:

$$\text{ЧNO}_x = 0,044 / 0,521 \times 100 = 8,4 \, \%$$

Аналіз структури валових викидів показує, що найбільшу частку становлять пилові речовини — 79,8 %. Це свідчить про те, що основний вплив підприємства на атмосферне повітря пов'язаний із пиловиділенням під час роботи з цементом, піском, щебенем і сухими компонентами бетонної суміші.

Газові викиди мають меншу частку в загальному обсязі забруднення. Частка оксиду карбону становить 9,6 %, оксидів нітрогену — 8,4 %, вуглеводнів — 1,5 %, сажі — 0,7 %. Вони утворюються переважно під час роботи вантажного транспорту, навантажувачів та можливого котельного обладнання.

Для визначення найбільш значущих джерел забруднення виконано ранжування джерел за величиною валових викидів.

Таблиця 3.13. Ранжування джерел за величиною валових викидів

Ранг	Джерело викиду	Валовий викид, т/рік	Частка загального викиду, %	Рівень впливу
1	Дозування та змішування компонентів	0,240	46,1	високий
2	Склади піску та щебеню	0,100	19,2	середній
3	Вантажний транспорт	0,075	14,4	середній
4	Внутрішні транспортні шляхи	0,034	6,5	середній
5	Можливе котельне обладнання	0,030	5,8	низький / середній
6	Розвантаження цементу	0,024	4,6	низький / середній
7	Силоси цементу	0,018	3,4	низький

Найбільший внесок у загальний обсяг валових викидів має ділянка дозування та змішування компонентів бетонної суміші. Її частка становить 46,1

% від загального обсягу викидів. Це пояснюється тим, що під час дозування та змішування відбувається активне переміщення сухих матеріалів, насамперед цементу, піску та мінеральних добавок.

Друге місце займають склади піску та щебеню, частка яких становить 19,2 %. Пилоутворення на цих ділянках залежить від вологості матеріалу, швидкості вітру, способу зберігання сировини та наявності захисних екранів або накриття.

Третє місце за обсягом викидів займає вантажний транспорт, який формує 14,4 % від загального забруднення. Його вплив полягає у викидах продуктів згоряння палива та у вторинному підніманні пилу з поверхні доріг і виробничих майданчиків.

Для зменшення валових викидів на підприємстві доцільно впровадити такі заходи:

- встановлення фільтрів на силосах цементу;
- герметизацію місць пересипання цементу;
- обладнання бетонозмішувальної установки аспіраційною системою;
- накриття складів сипучих матеріалів;
- регулярне зволоження відкритих майданчиків;
- прибирання внутрішніх транспортних шляхів;
- обмеження швидкості руху транспорту територією підприємства;
- контроль технічного стану вантажних автомобілів і навантажувачів.

Отже, розрахунок валових викидів забруднюючих речовин показав, що загальний орієнтовний обсяг викидів від підприємства «Гарант+ Буд» становить 0,521 т/рік. Основну частку у структурі забруднення займають пилові речовини — 0,416 т/рік, або 79,8 % від загального обсягу. Найбільш значущими джерелами є ділянка дозування та змішування компонентів бетонної суміші, склади піску й щебеню та транспортні операції. Отримані результати підтверджують необхідність упровадження сучасних пилогазоочисних заходів, спрямованих насамперед на зменшення пилових викидів.

3.5. Оцінка впливу викидів на стан атмосферного повітря

Оцінка впливу викидів на стан атмосферного повітря є важливим етапом експериментальної частини роботи, оскільки дає змогу визначити, наскільки діяльність підприємства «Гарант+ Буд» у с. Ценжів впливає на якість повітря в межах виробничої території та на прилеглих ділянках. Основну увагу під час оцінки приділено пиловим викидам, оскільки саме вони становлять найбільшу частку у загальному обсязі забруднення.

За результатами попередніх розрахунків встановлено, що загальний валовий викид забруднюючих речовин від підприємства становить 0,521 т/рік. Із них на пилові речовини припадає 0,416 т/рік, або 79,8 % від загального обсягу. Це свідчить про те, що основний вплив підприємства на атмосферне повітря пов'язаний із роботою з цементом, піском, щебенем, сухими мінеральними добавками та вторинним пилоутворенням під час руху транспорту.

Основними джерелами впливу на атмосферне повітря є бетонозмішувальна установка, ділянка дозування сухих компонентів, місця розвантаження цементу, склади піску та щебеню, внутрішні транспортні шляхи і зона відвантаження готової продукції. Газові викиди від вантажного транспорту мають меншу частку в загальному забрудненні, однак також впливають на якість повітря, особливо поблизу транспортного в'їзду, місць стоянки та руху техніки.

Для оцінки впливу викидів на стан атмосферного повітря використано коефіцієнт забруднення:

$$K = C_{\text{ф}} / \text{ГДК},$$

де K — коефіцієнт забруднення; $C_{\text{ф}}$ — фактична або розрахункова концентрація забруднюючої речовини, мг/м³; ГДК — гранично допустима концентрація, мг/м³.

Чим більше значення коефіцієнта K , тим вищим є рівень забруднення атмосферного повітря. Якщо $K < 1$, концентрація речовини не перевищує допустимого рівня. Якщо $K > 1$, спостерігається перевищення нормативного

значення.

Таблиця 3.14. Оцінка впливу забруднюючих речовин на атмосферне повітря за контрольними точками

Контроль на точка	Основне джерело впливу	Забруднююча речовина	Концентрація, мг/м ³	ГД К, мг/м ³	К	Рівень впливу
Точка 1	розвантаження цементу	цементний пил	0,31	0,30	1,03	підвищений
Точка 1	розвантаження цементу	зважені частинки	0,58	0,50	1,16	підвищений
Точка 2	бетонозмішувальна установка	цементний пил	0,40	0,30	1,33	підвищений
Точка 2	бетонозмішувальна установка	зважені частинки	0,76	0,50	1,52	підвищений
Точка 3	склади піску та щебеню	мінеральний пил	0,30	0,30	1,00	гранично допустимий
Точка 3	склади піску та щебеню	зважені частинки	0,48	0,50	0,96	допустимий
Точка 4	транспортний в'їзд	оксид карбону	2,40	5,00	0,48	допустимий
Точка 4	транспортний в'їзд	оксиди нітрогену	0,09	0,20	0,45	допустимий
Точка 5	межа підприємства	зважені частинки	0,34	0,50	0,68	допустимий
Точка 6	фонова точка	зважені частинки	0,14	0,50	0,28	низький

Аналіз таблиці показує, що найбільший вплив на стан атмосферного повітря спостерігається у точці 2, розташованій біля бетонозмішувальної

установки. Саме тут концентрація зважених частинок становить $0,76 \text{ мг/м}^3$, а коефіцієнт забруднення — 1,52. Це свідчить про перевищення допустимого рівня у 1,52 рази. Концентрація цементного пилу в цій точці також перевищує нормативне значення і становить $0,40 \text{ мг/м}^3$, що відповідає коефіцієнту забруднення 1,33.

Підвищений рівень забруднення також спостерігається в точці 1, поблизу розвантаження цементу. Тут коефіцієнт забруднення для цементного пилу становить 1,03, а для зважених частинок — 1,16. Це свідчить про те, що операції з цементом є одним із основних чинників погіршення якості атмосферного повітря на території підприємства.

У точці 3, біля складів піску та щебеню, рівень забруднення є нижчим, однак концентрація мінерального пилу перебуває на межі допустимого рівня. Це означає, що за несприятливих погодних умов, наприклад у суху та вітряну погоду, склади сипучих матеріалів можуть ставати значним джерелом вторинного пилоутворення.

Газові забруднювачі, які утворюються під час роботи транспорту, не перевищують нормативних значень. У зоні транспортного в'їзду коефіцієнт забруднення для оксиду карбону становить 0,48, а для оксидів нітрогену — 0,45. Це свідчить про допустимий рівень газового забруднення. Проте транспортний вплив не можна повністю ігнорувати, оскільки він одночасно супроводжується викидами продуктів згоряння палива та підніманням пилу з дорожнього покриття.

Важливим показником впливу підприємства є порівняння концентрацій забруднюючих речовин на виробничих ділянках із фоновими значеннями. Фонова точка характеризує умовний рівень забруднення атмосферного повітря, який не пов'язаний безпосередньо з діяльністю підприємства.

Таблиця 3.15. Порівняння концентрації зважених частинок із фоновим рівнем

Контрольна точка	Концентрація зважених частинок, мг/м^3	Перевищення над фоном, разів
Фонова точка	0,14	1,0

Межа підприємства	0,34	2,4
Склади піску та щебеню	0,48	3,4
Розвантаження цементу	0,58	4,1
Бетонозмішувальна установка	0,76	5,4

З таблиці видно, що концентрація зважених частинок біля бетонозмішувальної установки перевищує фоновий рівень у 5,4 раза, а поблизу розвантаження цементу — у 4,1 раза. Це підтверджує, що основним джерелом погіршення якості атмосферного повітря є саме технологічні процеси, пов'язані з переміщенням і змішуванням сухих компонентів бетонної суміші.

На межі підприємства концентрація зважених частинок становить 0,34 мг/м³, що не перевищує нормативне значення, однак у 2,4 раза перевищує фоновий рівень. Це свідчить про часткове поширення пилу за межі основних виробничих зон. Такий вплив має локальний характер, але потребує контролю, особливо за умов вітряної погоди.

Для узагальнення впливу різних джерел на атмосферне повітря доцільно визначити їхній внесок у загальний обсяг валових викидів.

Таблиця 3.16. Внесок основних джерел у загальний обсяг викидів

Джерело викидів	Валовий викид, т/рік	Частка від загального обсягу, %	Рівень впливу
Дозування та змішування компонентів	0,240	46,1	високий
Склади піску та щебеню	0,100	19,2	середній
Вантажний транспорт	0,075	14,4	середній
Внутрішні транспортні шляхи	0,034	6,5	середній
Можливе котельне обладнання	0,030	5,8	низький / середній

Розвантаження цементу	0,024	4,6	низький / середній
Силоси цементу	0,018	3,4	низький
Разом	0,521	100,0	—

Найбільший внесок у загальний обсяг викидів має ділянка дозування та змішування компонентів, частка якої становить 46,1 %. Це підтверджує необхідність першочергового впровадження природоохоронних заходів саме на цій ділянці. До таких заходів належать герметизація місць пересипання сухих компонентів, встановлення аспіраційної системи та використання фільтрувального обладнання.

Другим за значущістю джерелом є склади піску та щебеню, частка яких становить 19,2 %. Їхній вплив залежить від погодних умов, вологості матеріалу, способу складування та наявності захисних екранів. Для зменшення впливу цього джерела доцільно застосовувати накриття, зволоження матеріалів і регулярне очищення території.

Третю позицію займає вантажний транспорт, частка якого становить 14,4 %. Його вплив має комплексний характер, оскільки поєднує газові викиди та вторинне пилоутворення. Для зменшення транспортного впливу необхідно підтримувати справний технічний стан автомобілів, обмежувати швидкість руху на території підприємства та зменшувати запиленість внутрішніх доріг.

За характером впливу на атмосферне повітря забруднення на підприємстві можна оцінити як локальне та помірне, з окремими ділянками підвищеного пилового навантаження. Найбільш проблемними зонами є бетонозмішувальна установка та ділянка розвантаження цементу. На межі підприємства перевищення нормативних значень не встановлено, однак концентрація пилу є вищою за фоновий рівень, що свідчить про поширення забруднення за межі виробничих ділянок.

Основними наслідками впливу викидів на атмосферне повітря є:

1. підвищення концентрації пилу в зоні виробничих процесів;
2. збільшення запиленості території підприємства;

3. можливе перенесення пилу на прилеглі території;
4. погіршення умов праці працівників;
5. потенційний вплив на рослинність поблизу виробничої зони;
6. додаткове навантаження на атмосферне повітря від вантажного транспорту.

Особливу увагу слід приділяти цементному пилу, оскільки він має дрібнодисперсний склад і може тривалий час перебувати у повітрі. У разі потрапляння в органи дихання він здатний подразнювати слизові оболонки, спричиняти кашель, дискомфорт, алергічні реакції та погіршення самопочуття. Тому зниження концентрації цементного пилу є одним із головних завдань екологічної модернізації підприємства.

Вплив викидів на рослинність прилеглої території може проявлятися в осіданні пилу на листовій поверхні, що знижує інтенсивність фотосинтезу та погіршує газообмін рослин. Особливо це актуально для зелених насаджень, розташованих поблизу виробничого майданчика або транспортних шляхів.

Загалом вплив підприємства на атмосферне повітря можна охарактеризувати таким чином:

Показник	Характеристика
Основний тип забруднення	пилове
Основні забруднювачі	цементний пил, мінеральний пил, зважені частинки
Додаткові забруднювачі	СО, NO _x , сажа, вуглеводні
Найбільш забруднена зона	бетонозмішувальна установка
Рівень забруднення на межі підприємства	допустимий
Характер впливу	локальний
Основний напрям зменшення впливу	пилогозоочищення та пилопригнічення

Отже, оцінка впливу викидів на стан атмосферного повітря показала, що діяльність підприємства «Гарант+ Буд» спричиняє переважно локальне пилове

забруднення. Найбільший вплив мають процеси дозування та змішування компонентів бетонної суміші, розвантаження цементу, зберігання сипучих матеріалів і рух транспорту. Газові викиди від транспорту перебувають у межах допустимих значень, однак посилюють загальне антропогенне навантаження. Для зменшення негативного впливу необхідно впровадити сучасні газоочисні та пиловловлювальні установки, герметизувати місця пересипання сухих матеріалів, зволожувати відкриті

РОЗДІЛ 4.

ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ГАЗООЧИСНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

4.1. Сучасні типи газоочисного обладнання та принципи їх роботи

Впровадження сучасних газоочисних установок є одним із найефективніших напрямів зниження рівня забруднення атмосферного повітря на промислових підприємствах. Для досліджуваного об'єкта — підприємства «Гарант+ Буд», розташованого на території села Ценжів, основною екологічною проблемою є утворення пилових викидів під час виробництва бетонних виробів. Найбільше пилу утворюється під час розвантаження цементу, зберігання сипучих матеріалів, дозування компонентів бетонної суміші, роботи бетонозмішувальної установки та руху транспорту по виробничій території.

За результатами попередніх розрахунків встановлено, що загальний валовий викид забруднюючих речовин на підприємстві становить близько 0,521 т/рік, з яких 0,416 т/рік, або 79,8 %, припадає на пилові речовини. Це свідчить про те, що першочергового впровадження потребують саме пиловловлювальні та аспіраційні системи, здатні ефективно затримувати цементний, мінеральний пил і зважені частинки.

Газоочисне обладнання — це комплекс технічних пристроїв, призначених для вилучення або знешкодження забруднюючих речовин із газоповітряного потоку перед його викидом в атмосферу. Залежно від характеру забруднення, агрегатного стану домішок і технологічних умов роботи підприємства застосовують різні типи газоочисних установок. Їх можна поділити на механічні пиловловлювачі, фільтраційні установки, електрофільтри, мокрі газоочисні апарати, адсорбційні установки, абсорбери, каталітичні та термічні установки, а також комбіновані системи очищення.

Для підприємства з виробництва бетонних виробів найбільш доцільними

є такі типи обладнання: циклони, рукавні фільтри, картриджні фільтри, фільтри силосів цементу, аспіраційні системи, локальні витяжні установки, а також системи пилопригнічення на відкритих майданчиках. Вони дають змогу зменшити концентрацію пилу в повітрі, покращити умови праці, знизити запиленість території та обмежити поширення забруднення за межі підприємства.

Одним із найпростіших типів пиловловлювального обладнання є циклон. Принцип його роботи ґрунтується на використанні відцентрової сили. Забруднений газовий потік надходить у корпус циклона тангенціально, тобто по дотичній, унаслідок чого всередині апарата утворюється обертальний рух. Частинки пилу під дією відцентрової сили відкидаються до стінок апарата, втрачають швидкість і осідають у пилозбірнику. Очищене повітря виходить через центральну трубу.

Циклони мають просту конструкцію, не потребують складного обслуговування та можуть працювати за значних об'ємів газоповітряного потоку. Їх доцільно використовувати для попереднього очищення повітря від крупнодисперсного пилу. Однак для дрібнодисперсного цементного пилу ефективність циклонів може бути недостатньою, тому їх варто застосовувати у поєднанні з рукавними або картриджними фільтрами.

Більш ефективним обладнанням для очищення повітря від пилу є рукавні фільтри. Вони належать до фільтраційних апаратів і працюють за принципом проходження запиленого повітря через спеціальну тканину або синтетичний фільтрувальний матеріал. Частинки пилу затримуються на поверхні фільтрувальних рукавів, а очищене повітря проходить далі. У процесі роботи на поверхні тканини утворюється шар пилу, який додатково підвищує ефективність очищення.

Рукавні фільтри є особливо придатними для підприємств, де утворюється цементний і мінеральний пил. Їх можна встановлювати на силосах цементу, у місцях пересипання сухих компонентів, біля бетонозмішувальної установки та в системах аспірації. Основними перевагами рукавних фільтрів є високий

ступінь очищення, можливість затримання дрібнодисперсних частинок і відносно проста експлуатація. Недоліками є потреба в періодичному очищенні або заміні фільтрувальних рукавів, а також необхідність контролю герметичності системи.

Для очищення повітря від цементного пилу часто застосовують картриджні фільтри. Вони мають компактніші розміри порівняно з рукавними фільтрами та використовують фільтрувальні елементи у вигляді картриджів. Такі установки доцільно встановлювати на силосах цементу, у локальних аспіраційних системах і на невеликих ділянках виробництва. Картриджні фільтри ефективно вловлюють дрібні частинки пилу, займають менше місця та можуть бути обладнані автоматичною системою імпульсного очищення.

Окремим видом обладнання, актуальним для досліджуваного підприємства, є фільтри силосів цементу. Вони встановлюються у верхній частині силоса і призначені для очищення повітря, яке витісняється під час завантаження цементу. Без такого фільтра цементний пил може виходити в атмосферу разом із повітрям, що створює локальне забруднення біля силоса. Фільтри силосів дають змогу значно зменшити викиди цементного пилу та запобігти його поширенню на території підприємства.

Важливим елементом системи очищення є аспіраційна система. Вона призначена для відсмоктування запиленого повітря безпосередньо з місць утворення пилу. До складу аспіраційної системи входять місцеві укриття, повітроводи, вентилятори, пиловловлювальні апарати та фільтри. На підприємстві «Гарант+ Буд» аспіраційні системи доцільно встановлювати в зоні дозування цементу, на бетонозмішувальній установці та в місцях пересипання сухих компонентів.

Принцип роботи аспіраційної системи полягає у тому, що забруднене повітря не розсіюється у виробничому приміщенні або на відкритому майданчику, а відразу відводиться до фільтрувального обладнання. Після очищення повітря може повертатися у виробничу зону або викидатися в атмосферу за умови дотримання нормативних вимог. Такий підхід є

ефективним, оскільки забруднення вловлюється безпосередньо біля джерела його утворення.

До сучасних методів очищення належать також електрофільтри. Їхній принцип роботи ґрунтується на зарядженні частинок пилу в електричному полі та їх осадженні на електродах. Запилений газ проходить через зону високої напруги, частинки набувають електричного заряду й притягуються до осаджувальних пластин. Після цього пил видаляється з електродів механічним струшуванням або іншим способом.

Електрофільтри мають високу ефективність очищення та можуть використовуватися для великих обсягів газоповітряних потоків. Вони широко застосовуються на великих промислових і енергетичних підприємствах. Для невеликого або середнього підприємства з виробництва бетонних виробів їх використання може бути економічно менш доцільним через складність конструкції, потребу у високовольтному обладнанні та значні витрати на обслуговування. Тому для підприємства «Гарант+ Буд» більш практичними є рукавні, картриджні фільтри та локальні аспіраційні системи.

Ще одним типом обладнання є мокрі пиловловлювачі та скрубери. Вони працюють за принципом контакту забрудненого газового потоку з рідиною, найчастіше водою. Частинки пилу або газоподібні домішки захоплюються краплями рідини, після чого утворена суспензія видаляється з апарата. Скрубери можуть застосовуватися для очищення повітря від пилу, а також для поглинання окремих газоподібних речовин.

Перевагою мокрих скруберів є можливість одночасного вилучення пилу та деяких газових домішок. Проте для підприємств із виробництва бетонних виробів їх застосування має певні обмеження. Під час очищення цементного пилу у воді може утворюватися шлам, який потребує подальшого збирання, очищення або утилізації. Тому мокрі методи доцільно застосовувати лише у випадках, коли сухе фільтрування є недостатньо ефективним або коли необхідно одночасно зменшити пилові та газові викиди.

Для очищення газів від летких органічних сполук, запахів або окремих

токсичних домішок застосовують адсорбційні установки. Їхній принцип роботи полягає у поглинанні забруднюючих речовин поверхнею твердого пористого матеріалу — адсорбенту. Найчастіше як адсорбенти використовують активоване вугілля, цеоліти або інші матеріали з великою питомою поверхнею. Для досліджуваного підприємства цей тип обладнання не є першочерговим, оскільки основними забруднювачами є пилові частинки, а не леткі органічні речовини.

Адсорбційні установки використовують для очищення газів шляхом поглинання забруднюючих речовин рідким розчином. Такі установки ефективні для видалення аміаку, сірководню, хлору, діоксиду сульфуру та інших газоподібних домішок. На підприємстві з виробництва бетонних виробів вони можуть бути потрібними лише за наявності спеціальних хімічних процесів або значних газоподібних викидів, що не є характерним для основного технологічного процесу виробництва бруківки, блоків і бордюрів.

Каталітичні та термічні установки призначені для знешкодження горючих або токсичних газоподібних речовин. Термічне очищення полягає у спалюванні органічних домішок за високої температури, а каталітичне — у прискоренні хімічних реакцій за участю каталізатора. Таке обладнання застосовується переважно на хімічних, лакофарбових, нафтопереробних та інших підприємствах, де утворюються значні обсяги органічних газоподібних забруднювачів. Для підприємства «Гарант+ Буд» такі установки не є основними, оскільки його викиди мають переважно пиловий характер.

Для зменшення неорганізованих викидів на відкритих майданчиках важливу роль відіграють системи пилопригнічення. До них належать зволоження складів піску та щебеню, поливання внутрішніх доріг, використання захисних екранів, накриття сипучих матеріалів, укріплення місць пересипання та обмеження швидкості руху транспорту. Хоча ці заходи не є газоочисними установками у вузькому розумінні, вони суттєво знижують вторинне пилоутворення та доповнюють роботу фільтраційного обладнання.

Для досліджуваного підприємства доцільно розглядати не один окремий

апарат, а комбіновану систему очищення, яка поєднує кілька технічних рішень. Наприклад, на силосах цементу можуть бути встановлені картриджні або рукавні фільтри, у зоні дозування та змішування — локальна аспіраційна система з рукавним фільтром, а на відкритих складах піску та щебеню — системи зволоження і захисні екрани. Такий підхід забезпечує зниження як організованих, так і неорганізованих викидів.

Таблиця 4.1. Характеристика основних типів газоочисного обладнання

Тип обладнання	Принцип роботи	Основні забруднювачі, які вилучаються	Доцільність для підприємства «Гарант+ Буд»
Циклон	осадження пилу під дією відцентрової сили	крупнодисперсний мінеральний пил	доцільний для попереднього очищення
Рукавний фільтр	фільтрація повітря через тканинні рукави	цементний пил, мінеральний пил, зважені частинки	дуже доцільний
Картриджний фільтр	фільтрація через компактні фільтрувальні елементи	дрібнодисперсний пил	дуже доцільний
Фільтр силоса цементу	очищення повітря під час завантаження силоса	цементний пил	обов'язково доцільний
Аспіраційна система	відсмоктування пилу від місця утворення	пил сухих компонентів	дуже доцільна
Електрофільтр	осадження заряджених частинок в	дрібнодисперсний пил	доцільний переважно для великих

	електричному полі		виробництв
Мокрий скрубер	контакт забрудненого повітря з рідиною	пил, окремі газоподібні домішки	обмежено доцільний
Адсорбер	поглинання домішок твердим адсорбентом	леткі органічні речовини, запахи	малодоцільний для основного процесу
Абсорбер	поглинання газів рідким розчином	SO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, інші гази	доцільний лише за наявності газових домішок
Каталітична установка	хімічне перетворення домішок на каталізаторі	CO, органічні сполуки, NO _x	малодоцільна для даного об'єкта

Ефективність роботи газоочисного обладнання оцінюється за ступенем очищення газоповітряного потоку. Для цього використовують формулу:

$$\eta = ((C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}) / C_{\text{вх}}) \times 100 \%,$$

де η — ефективність очищення, %;

$C_{\text{вх}}$ — концентрація забруднюючої речовини до очищення, мг/м³;

$C_{\text{вих}}$ — концентрація забруднюючої речовини після очищення, мг/м³.

Цей показник дає змогу визначити, наскільки ефективно установка зменшує концентрацію забруднюючих речовин. Наприклад, якщо концентрація пилу до очищення становить 0,76 мг/м³, а після очищення — 0,15 мг/м³, то ефективність очищення становитиме:

$$\eta = ((0,76 - 0,15) / 0,76) \times 100 = 80,3 \, \%.$$

Отже, така система очищення дає змогу зменшити концентрацію пилу більш ніж у 5 разів і довести її до рівня, нижчого за нормативне значення.

Для підприємства «Гарант+ Буд» найбільш раціональним варіантом є впровадження системи сухого пиловловлення. Вона може включати фільтри на

силосах цементу, локальні аспіраційні укриття в місцях пересипання матеріалів, рукавний або картриджний фільтр для очищення повітря від бетонозмішувальної установки, а також заходи пилопригнічення на відкритих складах і транспортних шляхах.

Очікуваний ефект від впровадження такого обладнання полягає у зниженні концентрації цементного пилу, зважених частинок і мінерального пилу в робочій зоні та на межі підприємства. Крім того, зменшиться кількість пилу, що осідає на території підприємства, зелених насадженнях, транспортних шляхах і прилеглих ділянках. Це сприятиме покращенню умов праці, зниженню ризику впливу на населення та підвищенню рівня екологічної безпеки виробництва.

Таким чином, сучасні газоочисні установки є важливим інструментом зменшення негативного впливу промислових підприємств на атмосферне повітря. Для досліджуваного підприємства найбільш ефективними є рукавні та картриджні фільтри, фільтри силосів цементу, аспіраційні системи й заходи пилопригнічення. Саме ці технологічні рішення відповідають характеру викидів підприємства, оскільки основним забруднювачем є цементний та мінеральний пил. Їх впровадження дасть змогу знизити рівень забруднення атмосферного повітря, забезпечити відповідність нормативним вимогам і покращити екологічний стан території села Ценжів.

4.2. Обґрунтування вибору ефективної газоочисної установки

Вибір ефективної газоочисної установки для підприємства «Гарант+ Буд» у с. Ценжів необхідно здійснювати з урахуванням характеру виробничого процесу, складу забруднюючих речовин, обсягів викидів, технічних можливостей підприємства та економічної доцільності впровадження обладнання. Оскільки підприємство спеціалізується на виробництві бетонних виробів, основними джерелами забруднення атмосферного повітря є операції з цементом, піском, щебенем, сухими мінеральними добавками та рух

транспорту по виробничій території.

За результатами розрахунків, наведених у розділі 3, загальний валовий викид забруднюючих речовин на підприємстві становить 0,521 т/рік, з яких 0,416 т/рік, або 79,8 %, припадає на пилові речовини. Це свідчить, що головною екологічною проблемою досліджуваного об'єкта є саме пилове забруднення, а не газоподібні викиди. Найбільший внесок у загальний обсяг викидів має ділянка дозування та змішування компонентів бетонної суміші — 0,240 т/рік, що становить 46,1 % від загального обсягу забруднення.

Найвищі концентрації забруднюючих речовин були встановлені біля бетонозмішувальної установки. Концентрація зважених частинок у цій точці становила 0,76 мг/м³ за нормативного значення 0,50 мг/м³, тобто перевищення становило 1,52 рази. Концентрація цементного пилу становила 0,40 мг/м³ за нормативу 0,30 мг/м³, що відповідає перевищенню у 1,33 рази. Отже, першочергового очищення потребує саме зона дозування, пересипання та змішування сухих компонентів.

Під час вибору газоочисної установки для підприємства було враховано такі критерії:

1. здатність ефективно вловлювати цементний і мінеральний пил;
2. можливість роботи з дрібнодисперсними частинками;
3. придатність для встановлення біля бетонозмішувальної установки та силосів цементу;
4. простота експлуатації та технічного обслуговування;
5. відносно невисокі витрати на впровадження;
6. можливість зменшення як організованих, так і неорганізованих пилових викидів;
7. відповідність характеру виробництва бетонних виробів.

Для порівняння було розглянуто кілька типів газоочисного обладнання: циклони, рукавні фільтри, картриджні фільтри, мокрі скрубери, електрофільтри та аспіраційні системи.

Таблиця 4.2

Порівняльна характеристика газоочисного обладнання для підприємства

Тип обладнання	Переваги	Недоліки	Доцільність використання
Циклон	проста конструкція, невисока вартість, надійність	недостатньо ефективний для дрібного цементного пилу	доцільний лише для попереднього очищення
Рукавний фільтр	висока ефективність очищення, добре вловлює дрібний пил	потребує періодичного очищення або заміни рукавів	дуже доцільний
Картриджний фільтр	компактність, висока ефективність, можливість встановлення на силосах	потребує контролю стану фільтрувальних елементів	дуже доцільний
Мокрий скруббер	може вловлювати пил і частину газових домішок	утворення шламу, потреба у воді та очищенні стоків	обмежено доцільний
Електрофільтр	висока ефективність для великих потоків газу	складна конструкція, висока вартість	малодоцільний для даного підприємства
Аспіраційна система з фільтром	вловлює пил безпосередньо біля джерела утворення	потребує монтажу повітроводів і вентиляторів	найбільш доцільна

Порівняльний аналіз показує, що для підприємства «Гарант+ Буд» найбільш раціональним варіантом є впровадження локальної аспіраційної системи з

рукавним або картриджним фільтром. Така система дає змогу відсмоктувати запилене повітря безпосередньо з місць утворення пилу, очищувати його у фільтрувальному апараті та запобігати поширенню пилу у виробничій зоні й за межами підприємства.

Основними елементами рекомендованої газоочисної системи є:

- місцеві укриття в зоні пересипання та дозування цементу;
- повітроводи для транспортування запиленого повітря;
- вентилятор для створення необхідної тяги;
- рукавний або картриджний фільтр;
- пилозбірник для накопичення вловленого пилу;
- система очищення фільтрувальних елементів;
- контрольні отвори для перевірки ефективності очищення.

Принцип роботи такої установки полягає в тому, що запилене повітря з місць пересипання цементу, дозування сухих компонентів і роботи бетонозмішувальної установки відсмоктується через місцеві укриття. Далі воно надходить повітроводами до фільтра, де частинки пилу затримуються на поверхні фільтрувального матеріалу. Очищене повітря після проходження через фільтр може викидатися в атмосферу або частково повертатися у виробничу зону за умови дотримання санітарних вимог.

Для силосів цементу доцільно передбачити встановлення картриджних фільтрів силосного типу. Вони очищують повітря, яке витісняється під час завантаження цементу в силос, і запобігають викиду цементного пилу через верхню частину ємності. Такий захід є особливо важливим, оскільки цементний пил має дрібнодисперсний склад і легко поширюється повітряними потоками.

Очікувана ефективність рукавних і картриджних фільтрів для пилових викидів може становити 90-95 %. Для розрахунку зменшення викидів використовується формула:

$$G_{\text{після}} = G_{\text{до}} \times (1 - \eta / 100),$$

де $G_{\text{після}}$ — валовий викид після очищення, т/рік; $G_{\text{до}}$ — валовий викид до очищення, т/рік; η — ефективність очищення, %.

Для ділянки дозування та змішування компонентів валовий викид пилу до очищення становить 0,240 т/рік. Якщо прийняти ефективність аспіраційної системи з рукавним фільтром на рівні 90 %, то валовий викид після очищення становитиме:

$$G_{\text{після}} = 0,240 \times (1 - 90 / 100) = 0,024 \text{ т/рік.}$$

Отже, лише на цій ділянці можна зменшити річний викид пилу на:

$$\Delta G = 0,240 - 0,024 = 0,216 \text{ т/рік.}$$

Для силосів цементу валовий викид пилу до очищення становить 0,018 т/рік. За ефективності картриджного фільтра 95 % викид після очищення становитиме:

$$G_{\text{після}} = 0,018 \times (1 - 95 / 100) = 0,0009 \text{ т/рік.}$$

Зменшення викиду становитиме:

$$\Delta G = 0,018 - 0,0009 = 0,0171 \text{ т/рік.}$$

Для ділянки розвантаження цементу валовий викид становить 0,024 т/рік. За умови встановлення локального укриття та аспіраційної системи з ефективністю 85 % викид після очищення становитиме:

$$G_{\text{після}} = 0,024 \times (1 - 85 / 100) = 0,0036 \text{ т/рік.}$$

Зменшення викиду становитиме:

$$\Delta G = 0,024 - 0,0036 = 0,0204 \text{ т/рік.}$$

Таблиця 4.3. Очікуване зменшення пилових викидів після впровадження газоочисного обладнання

Джерело викиду	Викид до очищення, т/рік	Рекомендоване обладнання	Ефективність, %	Викид після очищення, т/рік	Зменшення, т/рік
Дозування та змішування компонентів	0,240	аспіраційна система з рукавним фільтром	90	0,024	0,216
Силоси цементу	0,018	картриджний фільтр	95	0,0009	0,0171

		силоса			
Розвантаження цементу	0,024	локальне укриття з аспірацією	85	0,0036	0,0204
Разом	0,282	—	—	0,0285	0,2535

З наведених розрахунків видно, що впровадження газоочисного обладнання на основних пилових джерелах дасть змогу зменшити викиди пилу з 0,282 т/рік до 0,0285 т/рік. Загальне скорочення становитиме 0,2535 т/рік, тобто приблизно 89,9 % для розглянутих джерел.

Після впровадження рекомендованої системи загальний валовий викид пилових речовин на підприємстві зменшиться з 0,416 т/рік до:

$$G_{\text{пил після}} = 0,416 - 0,2535 = 0,1625 \text{ т/рік.}$$

Загальний валовий викид усіх забруднюючих речовин зменшиться з 0,521 т/рік до:

$$G_{\text{заг після}} = 0,521 - 0,2535 = 0,2675 \text{ т/рік.}$$

Таким чином, впровадження аспіраційної системи з рукавним фільтром, картриджних фільтрів на силосах цементу та локального укриття з аспірацією в зоні розвантаження цементу дозволить зменшити загальний обсяг викидів приблизно на:

$$E = 0,2535 / 0,521 \times 100 = 48,7 \text{ \%}.$$

Отже, майже половину загального забруднення атмосферного повітря підприємства можна усунути за рахунок модернізації лише основних пилових джерел.

Таблиця 4.4. Порівняння загальних викидів до та після впровадження обладнання

Показник	До впровадження, т/рік	Після впровадження, т/рік	Зменшення, т/рік	Зменшення, %
Пилові речовини	0,416	0,1625	0,2535	60,9

Загальні викиди	0,521	0,2675	0,2535	48,7
-----------------	-------	--------	--------	------

Крім зменшення валових викидів, впровадження газоочисного обладнання дозволить знизити концентрації пилу у контрольних точках. Наприклад, у зоні бетонозмішувальної установки концентрація зважених частинок до очищення становила 0,76 мг/м³. За умови ефективності очищення 80 % очікувана концентрація після очищення становитиме:

$$\text{Спісля} = 0,76 \times (1 - 80 / 100) = 0,152 \text{ мг/м}^3.$$

Це значення є нижчим за норматив 0,50 мг/м³, отже, впровадження фільтрувального обладнання забезпечить приведення концентрації пилу до допустимого рівня.

Концентрація цементного пилу біля бетонозмішувальної установки до очищення становила 0,40 мг/м³. За умови зниження на 80 % вона становитиме:

$$\text{Спісля} = 0,40 \times (1 - 80 / 100) = 0,080 \text{ мг/м}^3.$$

Це також нижче за нормативне значення 0,30 мг/м³.

Таблиця 4.5. Очікуване зменшення концентрацій пилу після впровадження очищення

Контрольна точка	Забруднююча речовина	Концентрація до очищення, мг/м³	Очікувана ефективність, %	Концентрація після очищення, мг/м³	Норматив, мг/м³
Бетонозмішувальна установка	зважені частинки	0,76	80	0,152	0,50
Бетонозмішувальна установка	цементний пил	0,40	80	0,080	0,30
Розвантаження цементу	зважені частинки	0,58	75	0,145	0,50
Розвантаження цементу	цементний пил	0,31	75	0,078	0,30

Отримані результати підтверджують доцільність вибору саме фільтраційної

системи очищення. На відміну від циклонів, рукавні та картриджні фільтри ефективно вловлюють дрібнодисперсний цементний пил. На відміну від мокрих скрубєрів, вони не утворюють забруднених стічних вод або шламів, що спрощує експлуатацію. Порівняно з електрофільтрами, такі установки є простішими, дешевшими й доцільнішими для середнього підприємства з виробництва бетонних виробів.

Вибір аспіраційної системи з рукавним або картриджним фільтром є обґрунтованим також із технологічної точки зору, оскільки обладнання можна встановити без повної перебудови виробничого процесу. Локальні укриття можуть бути змонтовані в місцях пересипання цементу та дозування сухих компонентів, а фільтрувальний блок — поруч із бетонозмішувальною установкою або на окремому майданчику. Це дає змогу зменшити пиловиділення без суттєвого порушення роботи підприємства.

Додатково до фільтрувального обладнання доцільно впровадити організаційно-технічні заходи: регулярне зволоження відкритих майданчиків, очищення внутрішніх доріг, накриття складів піску та щебеню, обмеження швидкості руху транспорту, озеленення меж виробничої території та контроль технічного стану навантажувачів і вантажних автомобілів. Ці заходи дозволять зменшити вторинне пилоутворення, яке не завжди можна повністю усунути лише фільтраційними установками.

Таким чином, для підприємства «Гарант+ Буд» найбільш ефективним і технічно доцільним рішенням є впровадження комбінованої системи пилогазоочищення, що включає:

- аспіраційну систему з рукавним фільтром для бетонозмішувальної установки;
- картриджні фільтри на силосах цементу;
- локальні укриття з відсмоктуванням повітря в зоні розвантаження цементу;
- заходи пилопригнічення на відкритих складах і транспортних шляхах.

Очікуваний екологічний ефект від впровадження такої системи полягає у

зменшенні пилових викидів приблизно на 60,9 %, а загальних викидів забруднюючих речовин — на 48,7 %. Крім того, концентрації цементного пилу та зважених частинок у найбільш забруднених точках знизяться до рівнів, нижчих за нормативні значення. Отже, вибір аспіраційної системи з рукавним або картриджним фільтром є обґрунтованим, ефективним і практично доцільним для зниження рівня забруднення атмосферного повітря на досліджуваному підприємстві.

4.3. Технологічна схема очищення газових викидів

Технологічна схема очищення газових викидів для підприємства «Гарант+ Буд» у с. Ценжів повинна бути спрямована насамперед на зменшення пилових викидів, які утворюються під час виробництва бетонних виробів. За результатами попередніх розрахунків встановлено, що основну частку забруднення атмосферного повітря становлять пилові речовини — цементний пил, мінеральний пил і зважені частинки. Тому технологічна схема очищення має передбачати вловлювання пилу безпосередньо в місцях його утворення, очищення запиленого повітря у фільтрувальних установках і безпечне відведення очищеного повітря.

Для досліджуваного підприємства доцільно застосувати комбіновану технологічну схему пилогазоочищення, яка включає локальну аспірацію, рукавний або картриджний фільтр, фільтри на силосах цементу, пилозбірники, систему відведення очищеного повітря та заходи пилопригнічення на відкритих майданчиках. Такий підхід дає змогу зменшити як організовані, так і неорганізовані викиди.

Основними джерелами, які необхідно включити до системи очищення, є:

1. зона розвантаження цементу;
2. силоси або бункери для зберігання цементу;
3. ділянка дозування сухих компонентів;
4. бетонозмішувальна установка;

5. місця пересипання піску, щебеню та мінеральних добавок;
6. відкриті склади сипучих матеріалів;
7. внутрішні транспортні шляхи підприємства.

Найбільш ефективною для підприємства є схема, за якої пил не допускається до вільного поширення у виробничому середовищі, а відсмоктується безпосередньо біля джерела утворення. Для цього над місцями пересипання цементу, дозування сухих компонентів і завантаження бетонозмішувальної установки встановлюються місцеві укриття або витяжні зонти. Через систему повітроводів запилене повітря подається до фільтрувальної установки, де відбувається очищення від пилових частинок.

Загальна технологічна схема очищення газових викидів може бути представлена таким чином:

Джерело пилу → місцеве укриття → аспіраційний повітропровід → вентилятор → рукавний / картриджний фільтр → пилозбірник → очищене повітря → викидна труба або повернення у виробничу зону.

Для силосів цементу схема очищення має дещо інший вигляд:

Завантаження цементу в силос → витіснення запиленого повітря → фільтр силоса → осадження цементного пилу → повернення пилу в силос або пилозбірник → вихід очищеного повітря.

Таким чином, очищення газоповітряного потоку здійснюється безпосередньо в місцях найбільш інтенсивного пилоутворення. Це дозволяє не лише зменшити викиди в атмосферу, а й покращити санітарно-гігієнічні умови праці на підприємстві.

У запропонованій схемі першим елементом є місцеве укриття. Воно встановлюється над ділянками пересипання цементу, дозування сухих компонентів і завантаження бетонозмішувальної установки. Основне призначення укриття — не допустити розсіювання пилу у виробничому приміщенні або на відкритому майданчику. Чим ближче укриття розташоване до джерела пилу, тим ефективніше працює вся система очищення.



Рисунок 4.1. Принципова технологічна схема очищення пилогазових викидів на підприємстві

Наступним елементом є аспіраційний повітропровід, через який запилене повітря транспортується до фільтрувальної установки. Повітроводи повинні бути герметичними, мати мінімальну кількість поворотів і забезпечувати достатню швидкість руху повітря, щоб пил не осідав усередині системи. У місцях можливого накопичення пилу доцільно передбачити ревізійні люки для очищення та технічного обслуговування.

Для створення необхідного руху повітря використовується вентилятор. Він забезпечує відсмоктування запиленого повітря від джерела утворення пилу та

подачу його до фільтрувального обладнання. Потужність вентилятора добирається залежно від кількості джерел пиловиділення, довжини повітроводів, об'єму газоповітряного потоку та опору фільтра.

Основним елементом технологічної схеми є рукавний або картриджний фільтр. У ньому відбувається очищення повітря від цементного й мінерального пилу. Запилене повітря проходить через фільтрувальний матеріал, частинки пилу затримуються на його поверхні, а очищене повітря проходить далі. Періодично фільтрувальні елементи очищуються механічним струшуванням або імпульсами стисненого повітря.

Вловлений пил надходить у пилозбірник. Якщо пил не містить сторонніх домішок, його можна частково повертати у виробничий процес як мінеральну добавку або передавати на утилізацію. Це дає змогу зменшити втрати сировини та знизити кількість відходів. Якщо пил забруднений сторонніми речовинами, його необхідно збирати в герметичну тару й передавати на подальше поводження відповідно до вимог екологічної безпеки.

Після очищення повітря може відводитися через викидну трубу в атмосферу або частково повертатися у виробниче приміщення. Повернення очищеного повітря можливе лише за умови, що його якість відповідає санітарним вимогам і не створює ризику для працівників. Найбільш доцільним варіантом для підприємства є відведення очищеного повітря через організоване джерело з можливістю контролю концентрації забруднюючих речовин.

Окремо необхідно передбачити очищення повітря під час завантаження силосів цементу. Під час подачі цементу в силос запилене повітря витісняється з ємності. Якщо не встановити фільтр, цементний пил може виходити через верхню частину силоса та забруднювати прилеглу територію. Тому на силосах цементу доцільно встановити картриджні фільтри з автоматичним очищенням фільтрувальних елементів.

Таблиця 4.6. Основні елементи технологічної схеми очищення газових викидів

Елемент схеми	Призначення	Очікуваний ефект
Місцеве укриття	локалізація пилу в місці	зменшення поширення

	утворення	пилу у виробничій зоні
Аспіраційний повітропровід	транспортування запиленого повітря	організоване відведення пилогазового потоку
Вентилятор	створення тяги в системі	стабільна робота аспірації
Рукавний фільтр	очищення повітря від пилу	зниження концентрації цементного і мінерального пилу
Картриджний фільтр	тонке очищення від дрібнодисперсного пилу	ефективне очищення повітря на силосах і локальних джерелах
Пилозбірник	накопичення вловленого пилу	запобігання повторному потраплянню пилу в повітря
Викидна труба	відведення очищеного повітря	контрольований викид після очищення
Система пилопригнічення	зволоження відкритих майданчиків	зниження вторинного пилоутворення

Для відкритих складів піску та щебеню доцільно застосовувати не лише фільтраційне обладнання, а й технологічні заходи пилопригнічення. До них належать зволоження поверхні матеріалів, встановлення захисних екранів, часткове накриття складів, обмеження висоти падіння матеріалу під час пересипання та регулярне очищення території. Такі заходи є важливим доповненням до основної системи газоочищення, оскільки неорганізовані викиди неможливо повністю вловити лише фільтрами.

Для внутрішніх транспортних шляхів підприємства ефективними є регулярне прибирання пилу, зволоження доріг у суху погоду, облаштування твердого покриття та обмеження швидкості руху транспорту. Це дозволяє зменшити вторинне пилоутворення, яке виникає під час руху вантажних автомобілів і навантажувачів.

Технологічна схема очищення газових викидів повинна працювати у такій

послідовності:

1. утворення пилу в зоні технологічного процесу;
2. захоплення пилу місцевим укриттям або витяжним зонтом;
3. транспортування запиленого повітря через повітроводи;
4. подача газоповітряного потоку до фільтрувальної установки;
5. осадження пилу на фільтрувальних елементах;
6. видалення пилу у пилозбірник;
7. відведення очищеного повітря;
8. контроль ефективності очищення.

Ефективність роботи запропонованої схеми можна оцінити за формулою:

$$\eta = ((C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}) / C_{\text{вх}}) \times 100 \%,$$

де η — ефективність очищення, %; $C_{\text{вх}}$ — концентрація пилу до очищення, мг/м³; $C_{\text{вих}}$ — концентрація пилу після очищення, мг/м³.

Якщо концентрація зважених частинок біля бетонозмішувальної установки до очищення становила 0,76 мг/м³, а після очищення очікується на рівні 0,152 мг/м³, то ефективність очищення становитиме:

$$\eta = ((0,76 - 0,152) / 0,76) \times 100 = 80 \%.$$

Це означає, що запропонована технологічна схема дає змогу зменшити концентрацію пилу до рівня, нижчого за нормативне значення. Аналогічно, концентрація цементного пилу може знизитися з 0,40 мг/м³ до 0,080 мг/м³, що також відповідає допустимому рівню.

Таблиця 4.7. Очікуваний ефект від впровадження технологічної схеми очищення

Показник	До очищення	Після очищення	Очікуване зниження
Концентрація зважених частинок біля бетонозмішувальної установки, мг/м ³	0,76	0,152	80 %
Концентрація цементного пилу біля бетонозмішувальної установки,	0,40	0,080	80 %

мг/м ³			
Валовий викид від дозування та змішування, т/рік	0,240	0,024	90 %
Валовий викид від силосів цементу, т/рік	0,018	0,0009	95 %
Валовий викид від розвантаження цементу, т/рік	0,024	0,0036	85 %

Запропонована технологічна схема має низку переваг. По-перше, вона забезпечує вловлювання пилу безпосередньо в місцях його утворення. По-друге, використання рукавних і картриджних фільтрів дозволяє ефективно очищати повітря від дрібнодисперсного цементного пилу. По-третє, схема є технічно придатною для підприємства середньої потужності та не потребує повної перебудови виробничого процесу. По-четверте, вловлений пил можна збирати у пилозбірники й частково використовувати повторно або безпечно утилізувати.

Однак для ефективної роботи технологічної схеми необхідно дотримуватися певних умов експлуатації. Слід регулярно перевіряти герметичність повітроводів, очищувати або замінювати фільтрувальні елементи, контролювати роботу вентилятора, не допускати переповнення пилозбірників і проводити періодичний контроль концентрацій пилу після очищення. У разі несправності фільтра або вентилятора ефективність системи різко знижується, що може призвести до повторного підвищення рівня забруднення атмосферного повітря.

Отже, технологічна схема очищення газових викидів для підприємства «Гарант+ Буд» повинна базуватися на поєднанні локальної аспірації, рукавних або картриджних фільтрів, фільтрів силосів цементу та заходів пилопригнічення на відкритих майданчиках. Така схема є найбільш доцільною для виробництва бетонних виробів, оскільки основним забруднювачем є цементний і мінеральний пил. Її впровадження дозволить знизити концентрації пилу до нормативних значень, зменшити валові викиди, покращити умови праці

та знизити негативний вплив підприємства на атмосферне повітря села Ценжів.

4.4. Розрахунок ефективності очищення газових викидів

Розрахунок ефективності очищення газових викидів є необхідним для кількісної оцінки результативності впровадження газоочисного обладнання на підприємстві «Гарант+ Буд» у с. Ценжів. Оскільки основним видом забруднення на досліджуваному об'єкті є пилові викиди, розрахунок ефективності очищення доцільно виконувати насамперед для цементного пилу, мінерального пилу та зважених частинок, які утворюються під час розвантаження цементу, дозування сухих компонентів і роботи бетонозмішувальної установки.

За результатами попередніх розрахунків встановлено, що загальний валовий викид забруднюючих речовин на підприємстві становить 0,521 т/рік, з яких 0,416 т/рік припадає на пилові речовини. Найбільш значущими джерелами пилових викидів є ділянка дозування та змішування компонентів, силоси цементу і зона розвантаження цементу. Саме для цих джерел передбачено впровадження аспіраційної системи з рукавним або картриджним фільтром.

Ефективність очищення газоповітряного потоку визначається за формулою:

$$\eta = ((C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}) / C_{\text{вх}}) \times 100 \%,$$

де η — ефективність очищення, %;

$C_{\text{вх}}$ — концентрація забруднюючої речовини до очищення, мг/м³;

$C_{\text{вих}}$ — концентрація забруднюючої речовини після очищення, мг/м³.

Для оцінки зменшення валових викидів після впровадження газоочисного обладнання використовується формула:

$$G_{\text{після}} = G_{\text{до}} \times (1 - \eta / 100),$$

де $G_{\text{після}}$ — валовий викид після очищення, т/рік;

$G_{\text{до}}$ — валовий викид до очищення, т/рік;

η — ефективність очищення, %.

Зменшення валового викиду визначається за формулою:

$$\Delta G = G_{\text{до}} - G_{\text{після}},$$

де ΔG — скорочення викиду забруднюючої речовини, т/рік.

Для досліджуваного підприємства прийнято такі очікувані значення ефективності очищення:

- аспіраційна система з рукавним фільтром для ділянки дозування та змішування компонентів — 90 %;
- картриджний фільтр на силосах цементу — 95 %;
- локальне укриття з аспірацією в зоні розвантаження цементу — 85 %;
- заходи пилопригнічення на складах піску та щебеню — 50 %;
- зволоження й очищення внутрішніх транспортних шляхів — 40 %.

Таблиця 4.8

Розрахунок ефективності очищення основних джерел пилових викидів

Джерело викиду	Забруднююча речовина	Викид до очищення, т/рік	Ефективність очищення, %	Викид після очищення, т/рік	Зменшення викиду, т/рік
Дозування та змішування компонентів	цементний і мінеральний пил	0,240	90	0,024	0,216
Силоси цементу	цементний пил	0,018	95	0,0009	0,0171
Розвантаження цементу	цементний пил	0,024	85	0,0036	0,0204
Склади піску та щебеню	мінеральний пил	0,100	50	0,050	0,050
Внутрішні транспортні шляхи	вторинний пил	0,034	40	0,0204	0,0136
Разом	пилові	0,416	—	0,0989	0,3171

	речовини				
--	----------	--	--	--	--

На основі наведених розрахунків встановлено, що після впровадження газоочисного обладнання та заходів пилопригнічення валовий викид пилових речовин може зменшитися з 0,416 т/рік до 0,0989 т/рік.

Загальне скорочення пилових викидів становитиме:

$$\Delta G_{\text{пил}} = 0,416 - 0,0989 = 0,3171 \text{ т/рік.}$$

Загальна ефективність зниження пилових викидів визначається за формулою:

$$E_{\text{пил}} = (\Delta G_{\text{пил}} / G_{\text{пил до}}) \times 100 \text{ \%}.$$

Підставляємо значення:

$$E_{\text{пил}} = (0,3171 / 0,416) \times 100 = 76,2 \text{ \%}.$$

Отже, впровадження запропонованої системи пилогазоочищення дозволить зменшити пилові викиди приблизно на 76,2 %.

До впровадження газоочисних заходів загальний валовий викид усіх забруднюючих речовин становив 0,521 т/рік. Після зменшення пилових викидів на 0,3171 т/рік загальний валовий викид становитиме:

$$G_{\text{заг після}} = 0,521 - 0,3171 = 0,2039 \text{ т/рік.}$$

Загальна ефективність зменшення викидів підприємства становитиме:

$$E_{\text{заг}} = (0,3171 / 0,521) \times 100 = 60,9 \text{ \%}.$$

Отже, завдяки впровадженню аспіраційної системи, фільтрів на силосах цементу та заходів пилопригнічення загальний обсяг викидів забруднюючих речовин може бути зменшений приблизно на 60,9 %.

Таблиця 4.9

Порівняння валових викидів до та після очищення

Показник	До впровадження очищення, т/рік	Після впровадження очищення, т/рік	Зменшення, т/рік	Зменшення, %
Пилові речовини	0,416	0,0989	0,3171	76,2
Газові	0,105	0,105	0	0

речовини				
Загальні викиди	0,521	0,2039	0,3171	60,9

З таблиці видно, що основний екологічний ефект досягається саме за рахунок зменшення пилових викидів. Газові речовини, які утворюються переважно під час роботи вантажного транспорту, у цьому розрахунку залишаються без змін, оскільки запропонована система спрямована насамперед на очищення пилогазових потоків від цементного та мінерального пилу. Для зменшення газових викидів доцільно додатково передбачити контроль технічного стану транспорту, зменшення часу роботи двигунів на холостому ходу та поступовий перехід на більш екологічну техніку.

Окрім валових викидів, важливо оцінити зміну концентрацій забруднюючих речовин у контрольних точках. Найбільші перевищення були зафіксовані біля бетонозмішувальної установки та в зоні розвантаження цементу. Після впровадження аспіраційної системи очікується суттєве зниження концентрацій пилу.

Таблиця 4.10

Очікуване зниження концентрацій пилу після очищення

Контрольна точка	Забруднююча речовина	Концентрація до очищення, мг/м ³	Ефективність очищення, %	Концентрація після очищення, мг/м ³	ГДК, мг/м ³
Бетонозмішувальна установка	зважені частинки	0,76	80	0,152	0,50
Бетонозмішувальна установка	цементний пил	0,40	80	0,080	0,30
Розвантаження цементу	зважені частинки	0,58	75	0,145	0,50
Розвантаження	цементний	0,31	75	0,078	0,30

цементу	пил				
Склади піску та щебеню	мінеральний пил	0,30	50	0,150	0,30

Розрахунки показують, що після впровадження очищення концентрації пилу у найбільш забруднених точках зменшуються до рівнів, нижчих за гранично допустимі значення. Наприклад, концентрація зважених частинок біля бетонозмішувальної установки зменшується з 0,76 мг/м³ до 0,152 мг/м³, що у понад три рази нижче за норматив 0,50 мг/м³. Концентрація цементного пилу зменшується з 0,40 мг/м³ до 0,080 мг/м³, що також відповідає допустимому рівню.

Розрахунок ефективності очищення для зважених частинок біля бетонозмішувальної установки:

$$\eta = ((0,76 - 0,152) / 0,76) \times 100 = 80 \, \%$$

Розрахунок ефективності очищення для цементного пилу біля бетонозмішувальної установки:

$$\eta = ((0,40 - 0,080) / 0,40) \times 100 = 80 \, \%$$

Розрахунок ефективності очищення для зважених частинок у зоні розвантаження цементу:

$$\eta = ((0,58 - 0,145) / 0,58) \times 100 = 75 \, \%$$

Отже, запропонована система очищення забезпечує зниження концентрацій пилу в основних контрольних точках на 75-80 %, що є достатнім для приведення показників до нормативних значень.

Таблиця 4.11

Оцінка рівня забруднення після впровадження очищення

Контрольна точка	Забруднююча речовина	Концентрація після очищення, мг/м³	ГДК, мг/м³	$K = \frac{C_{\text{ф/ГД}}}{K}$	Оцінка
Бетонозмішувальна установка	зважені частинки	0,152	0,50	0,30	допустимий рівень

Бетонозмішуваль на установка	цементний пил	0,080	0,30	0,27	допустими й рівень
Розвантаження цементу	зважені частинки	0,145	0,50	0,29	допустими й рівень
Розвантаження цементу	цементний пил	0,078	0,30	0,26	допустими й рівень
Склади піску та щебеню	мінеральний пил	0,150	0,30	0,50	допустими й рівень

Значення коефіцієнта забруднення після впровадження очищення не перевищує 1,0 у жодній із розглянутих точок. Це свідчить про те, що запропоновані технічні заходи є ефективними та дають змогу привести рівень пилового забруднення до допустимих значень.

Найбільший ефект досягається на ділянці дозування та змішування компонентів, де валовий викид пилу зменшується з 0,240 т/рік до 0,024 т/рік. Це пояснюється високою ефективністю рукавного фільтра та локалізацією пилу безпосередньо в місці його утворення. Встановлення картриджних фільтрів на силосах цементу також є ефективним заходом, оскільки дозволяє майже повністю запобігти викиду цементного пилу під час завантаження силоса.

Ефективність очищення значною мірою залежить від технічного стану обладнання. Для підтримання стабільної роботи системи необхідно регулярно перевіряти герметичність повітроводів, справність вентилятора, стан фільтрувальних елементів, роботу системи очищення рукавів або картриджів, а також своєчасно видаляти пил із пилозбірників. У разі засмічення фільтрів або порушення герметичності системи фактична ефективність очищення може знижуватися.

Впровадження системи очищення також має позитивний вплив на умови праці. Зменшення концентрації цементного пилу в робочій зоні сприятиме зниженню ризику подразнення органів дихання, очей і шкіри працівників. Крім того, зменшиться осідання пилу на обладнанні, транспортних шляхах, зелених насадженнях і прилеглих територіях.

Отже, розрахунок ефективності очищення газових викидів показав, що впровадження аспіраційної системи з рукавним фільтром, картриджних фільтрів на силосах цементу, локального укриття в зоні розвантаження цементу та заходів пилопригнічення дає змогу суттєво зменшити рівень забруднення атмосферного повітря на підприємстві «Гарант+ Буд». Пилові викиди можуть бути знижені на 76,2 %, а загальні викиди забруднюючих речовин — на 60,9 %. Після впровадження очищення концентрації пилу в основних контрольних точках не перевищуватимуть нормативних значень, що підтверджує ефективність і доцільність запропонованої системи газоочищення.

4.5. Екологічний ефект від впровадження сучасних газоочисних установок

Екологічний ефект від впровадження сучасних газоочисних установок полягає у зменшенні кількості забруднюючих речовин, які надходять в атмосферне повітря, покращенні санітарно-гігієнічних умов праці, зниженні запиленості виробничої території та зменшенні негативного впливу підприємства на прилеглі території. Для підприємства «Гарант+ Буд» у с. Ценжів основний екологічний ефект очікується від зниження пилових викидів, оскільки саме вони становлять найбільшу частку у загальному обсязі забруднення атмосферного повітря.

За результатами розрахунків, до впровадження газоочисного обладнання загальний валовий викид забруднюючих речовин на підприємстві становив 0,521 т/рік. Із них 0,416 т/рік, або 79,8 %, припадало на пилові речовини. Після встановлення аспіраційної системи з рукавним фільтром, картриджних фільтрів на силосах цементу, локального укриття в зоні розвантаження цементу та впровадження заходів пилопригнічення очікується зменшення пилових викидів до 0,0989 т/рік.

Загальне скорочення пилових викидів становить:

$$\Delta G_{\text{пил}} = 0,416 - 0,0989 = 0,3171 \text{ т/рік.}$$

Ефективність зменшення пилових викидів визначається за формулою:

$$E_{\text{пил}} = (\Delta G_{\text{пил}} / G_{\text{пил до}}) \times 100 \%,$$

де $E_{\text{пил}}$ — ефективність зменшення пилових викидів, %;

$\Delta G_{\text{пил}}$ — скорочення пилових викидів, т/рік;

$G_{\text{пил до}}$ — валовий викид пилових речовин до впровадження очищення, т/рік.

Підставляємо значення:

$$E_{\text{пил}} = (0,3171 / 0,416) \times 100 = 76,2 \, \%.$$

Отже, впровадження сучасної системи пилогазоочищення дає змогу зменшити пилові викиди на 76,2 %.

Після впровадження газоочисних заходів загальний валовий викид усіх забруднюючих речовин зменшиться з 0,521 т/рік до 0,2039 т/рік. Загальне скорочення становитиме:

$$\Delta G_{\text{заг}} = 0,521 - 0,2039 = 0,3171 \text{ т/рік}.$$

Загальна ефективність зменшення викидів підприємства:

$$E_{\text{заг}} = (0,3171 / 0,521) \times 100 = 60,9 \, \%.$$

Таким чином, загальний обсяг викидів забруднюючих речовин після впровадження сучасних газоочисних установок може зменшитися на 60,9 %.

Таблиця 4.12. Екологічний ефект від впровадження газоочисного обладнання

Показник	До впровадження, т/рік	Після впровадження, т/рік	Зменшення, т/рік	Ефективність, %
Пилові речовини	0,416	0,0989	0,3171	76,2
Газові речовини	0,105	0,105	0	0
Загальні викиди	0,521	0,2039	0,3171	60,9

Найбільший екологічний ефект досягається за рахунок зменшення

викидів цементного та мінерального пилу. Це пояснюється тим, що запропонована система очищення спрямована саме на основні джерела пиловиділення: ділянку дозування та змішування компонентів, силоси цементу, зону розвантаження цементу, склади сипучих матеріалів і внутрішні транспортні шляхи.

Особливо важливим є зниження концентрацій пилу у найбільш забруднених контрольних точках. До впровадження очищення концентрація зважених частинок біля бетонозмішувальної установки становила $0,76 \text{ мг/м}^3$, що перевищувало нормативне значення. Після впровадження аспіраційної системи очікується її зниження до $0,152 \text{ мг/м}^3$. Концентрація цементного пилу зменшується з $0,40 \text{ мг/м}^3$ до $0,080 \text{ мг/м}^3$.

Таблиця 4.13. Зміна концентрацій пилу після впровадження газоочисних установок

Контрольна точка	Забруднююча речовина	До очищення, мг/м^3	Після очищення, мг/м^3	Норматив, мг/м^3	Результат
Бетонозмішувальна установка	зважені частинки	0,76	0,152	0,50	нижче нормативу
Бетонозмішувальна установка	цементний пил	0,40	0,080	0,30	нижче нормативу
Розвантаження цементу	зважені частинки	0,58	0,145	0,50	нижче нормативу
Розвантаження цементу	цементний пил	0,31	0,078	0,30	нижче нормативу
Склади піску та щебеню	мінеральний пил	0,30	0,150	0,30	нижче нормативу

					у
--	--	--	--	--	---

З таблиці видно, що після впровадження газоочисного обладнання концентрації пилу в усіх основних контрольних точках не перевищуватимуть нормативних значень. Це свідчить про високу ефективність запропонованих заходів і їхню доцільність для досліджуваного підприємства.

Екологічний ефект від впровадження газоочисних установок проявляється у кількох основних напрямках. Насамперед зменшується надходження пилу в атмосферне повітря. Це особливо важливо для с. Ценжів, оскільки підприємство розташоване в межах населеного пункту, а тому зниження пилового навантаження має значення не лише для виробничої території, а й для прилеглих житлових і природних ділянок.

Другим важливим результатом є зменшення запиленості виробничої території. Менша кількість пилу осідатиме на обладнанні, дорогах, складах, зелених насадженнях і поверхні ґрунту. Це сприятиме покращенню санітарного стану підприємства, зниженню потреби у частому прибиранні та зменшенню вторинного пилоутворення під час руху транспорту.

Третім позитивним наслідком є покращення умов праці працівників. Цементний пил може подразнювати органи дихання, очі та шкіру, тому його зменшення у повітрі робочої зони знижує ризик негативного впливу на здоров'я персоналу. Після впровадження аспіраційної системи пил вловлюватиметься безпосередньо в місцях його утворення, що зменшить контакт працівників із забрудненим повітрям.

Четвертим напрямом екологічного ефекту є зменшення впливу на рослинність і ґрунтовий покрив прилеглої території. До впровадження очищення пилові частинки могли осідати на листовій поверхні рослин, погіршувати процеси фотосинтезу та сприяти зміні властивостей ґрунту. Після зменшення пилових викидів кількість осілого пилу знизиться, що позитивно вплине на стан зелених насаджень і природних компонентів довкілля.

П'ятим важливим результатом є зменшення ризику поширення забруднення за межі підприємства. До очищення концентрація зважених

частинок на межі підприємства становила $0,34 \text{ мг/м}^3$, що не перевищувало нормативного значення, але було вищим за фоновий рівень. Після впровадження пилогазоочисних заходів очікується зменшення перенесення пилу за межі виробничої території, особливо у суху та вітряну погоду.

Екологічний ефект можна узагальнити за такими показниками:

Таблиця 4.14. Основні результати екологічного ефекту

Напрямок впливу	Очікуваний результат
Атмосферне повітря	зменшення пилових викидів на 76,2 %
Загальні викиди	зменшення на 60,9 %
Робоча зона	зниження концентрацій цементного пилу
Територія підприємства	зменшення осідання пилу на поверхнях
Прилеглі території	зменшення перенесення пилу за межі підприємства
Рослинність	зниження пилового навантаження на листову поверхню
Умови праці	покращення санітарно-гігієнічних умов
Екологічна безпека	підвищення рівня контролю за викидами

Впровадження газоочисного обладнання має також організаційно-екологічне значення. Наявність аспіраційної системи, рукавних і картриджних фільтрів дає змогу перевести частину неорганізованих викидів в організовані, тобто такі, які можна контролювати, вимірювати та обслуговувати. Це підвищує керованість виробничого процесу та полегшує здійснення екологічного моніторингу.

Крім того, вловлений цементний пил може збиратися у пилозбірниках і, за умови відповідності технологічним вимогам, частково повертатися у виробничий процес або передаватися на утилізацію. Це сприяє зменшенню втрат сировини та скороченню кількості відходів, що утворюються на підприємстві.

Важливим є те, що запропоновані заходи не потребують повної зміни

технологічного процесу виробництва бетонних виробів. Вони можуть бути впроваджені локально — у місцях найбільшого пилоутворення. Це робить їх технічно реалістичними та практично доцільними для підприємства середньої потужності.

Для підтримання досягнутого екологічного ефекту необхідно забезпечити регулярне технічне обслуговування газоочисного обладнання. Зокрема, потрібно перевіряти стан фільтрувальних елементів, очищувати або замінювати рукави й картриджі, контролювати герметичність повітроводів, справність вентилятора, заповнення пилозбірників і ефективність роботи системи аспірації. Без належного обслуговування ефективність очищення може знижуватися.

Отже, впровадження сучасних газоочисних установок на підприємстві «Гарант+ Буд» забезпечує значний екологічний ефект. Очікується зменшення пилових викидів на 76,2 %, а загального обсягу викидів забруднюючих речовин — на 60,9 %. Концентрації цементного пилу та зважених частинок у найбільш забруднених точках після очищення не перевищуватимуть нормативних значень. Це сприятиме покращенню якості атмосферного повітря, зменшенню запиленості території, поліпшенню умов праці, зниженню впливу на рослинність і підвищенню рівня екологічної безпеки в межах села Ценжів.

4.6. Рекомендації щодо зменшення рівня забруднення атмосферного повітря

За результатами проведеної оцінки встановлено, що основним видом забруднення атмосферного повітря на підприємстві «Гарант+ Буд» у с. Ценжів є пилове забруднення. Найбільше значення мають цементний пил, мінеральний пил і зважені частинки, які утворюються під час розвантаження цементу, зберігання сипучих матеріалів, дозування сухих компонентів, роботи бетонозмішувальної установки та руху транспорту територією підприємства.

Загальний валовий викид забруднюючих речовин до впровадження

природоохоронних заходів становив 0,521 т/рік, з яких 0,416 т/рік, або 79,8 %, припадало на пилові речовини. Після впровадження аспіраційної системи, рукавних і картриджних фільтрів, локальних укриттів та заходів пилопригнічення очікується зменшення пилових викидів на 76,2 %, а загального обсягу забруднення — на 60,9 %. Це підтверджує доцільність реалізації комплексу технічних, організаційних і моніторингових заходів.

Першочерговим заходом є встановлення аспіраційної системи в зоні дозування та змішування компонентів бетонної суміші. Саме ця ділянка має найбільший внесок у загальний обсяг викидів — 0,240 т/рік, або 46,1 %. Аспіраційна система повинна забезпечувати відсмоктування запиленого повітря безпосередньо з місць пересипання цементу, піску, щебеню та мінеральних добавок. Запилене повітря необхідно подавати до рукавного або картриджного фільтра, де відбуватиметься очищення від дрібнодисперсного пилу.

Другим важливим заходом є встановлення картриджних фільтрів на силосах цементу. Під час завантаження цементу в силос запилене повітря витісняється назовні, що може призводити до локального забруднення атмосферного повітря. Картриджний фільтр дає змогу затримувати цементний пил і запобігати його потраплянню в атмосферу. Очікувана ефективність такого обладнання може становити до 95 %, що робить його одним із найбільш доцільних технічних рішень для підприємства.

Для зменшення викидів у зоні розвантаження цементу доцільно передбачити локальні укриття або витяжні зонти. Вони повинні бути встановлені безпосередньо над місцями пересипання або подачі цементу. Таке обладнання не дає пилу вільно поширюватися у повітрі та спрямовує забруднений потік до системи очищення. Очікуване зменшення пилових викидів на цій ділянці може становити близько 85 %.

Окремої уваги потребують склади піску та щебеню. Ці джерела належать до неорганізованих, тому повністю вловити пил за допомогою фільтрів складно. Для зменшення пилоутворення необхідно застосовувати накриття сипучих

матеріалів, встановлення захисних екранів, регулярне зволоження поверхні матеріалів у суху погоду та зменшення висоти падіння матеріалу під час пересипання. Такі заходи дозволяють зменшити утворення мінерального пилу та його перенесення вітром.

Важливим джерелом вторинного пилу є внутрішні транспортні шляхи підприємства. Під час руху вантажних автомобілів і навантажувачів пил піднімається з поверхні доріг, майданчиків і складів готової продукції. Для зменшення цього впливу необхідно регулярно очищувати територію, зволожувати дороги у суху погоду, облаштовувати тверде покриття на основних маршрутах руху транспорту та обмежувати швидкість руху техніки в межах підприємства.

Для зменшення газових викидів від транспорту рекомендується здійснювати регулярний технічний контроль вантажних автомобілів і навантажувальної техніки. Необхідно не допускати тривалої роботи двигунів на холостому ходу, використовувати якісне паливо, своєчасно проводити технічне обслуговування двигунів і поступово оновлювати транспортний парк. Це дозволить знизити викиди оксиду карбону, оксидів нітрогену, сажі та вуглеводнів.

Доцільно також передбачити озеленення меж виробничої території. Зелені насадження виконують роль природного бар'єра, частково затримують пил, зменшують швидкість вітру та покращують санітарно-гігієнічний стан території. Для озеленення доцільно використовувати стійкі до запиленості деревні та чагарникові породи. Зелені смуги особливо важливо створювати з боку житлової забудови та вздовж транспортних шляхів.

Для забезпечення стабільної ефективності газоочисного обладнання необхідно організувати регулярне технічне обслуговування. Воно повинно включати перевірку герметичності повітроводів, очищення або заміну фільтрувальних елементів, контроль роботи вентиляторів, очищення пилозбірників, перевірку стану місцевих укріплень і аспіраційних каналів. У разі несвоєчасного обслуговування ефективність очищення може знижуватися, що

приведе до повторного збільшення викидів.

Не менш важливим є екологічний моніторинг атмосферного повітря. На підприємстві доцільно періодично контролювати концентрації пилу, зважених частинок, оксиду карбону, оксидів нітрогену та сажі. Контрольні точки слід розміщувати біля бетонозмішувальної установки, у зоні розвантаження цементу, поблизу складів сипучих матеріалів, біля транспортного в'їзду, на межі підприємства та в напрямку найближчої житлової забудови. Отримані результати необхідно порівнювати з нормативними значеннями та використовувати для коригування природоохоронних заходів.

Таблиця 4.15. Рекомендовані заходи щодо зменшення забруднення атмосферного повітря

Напрямок заходів	Рекомендований захід	Очікуваний результат
Очищення пилових викидів	встановлення рукавного фільтра на ділянці дозування та змішування	зменшення пилових викидів до 90 %
Очищення викидів від силосів	встановлення картриджних фільтрів на силосах цементу	зменшення цементного пилу до 95 %
Локалізація пилу	встановлення укриттів і витяжних зонтів	запобігання поширенню пилу у виробничій зоні
Склади сипучих матеріалів	накриття, екрани, зволоження піску та щебеню	зменшення неорганізованих пилових викидів
Транспортні шляхи	прибирання, зволоження, тверде покриття, обмеження швидкості	зменшення вторинного пилоутворення
Транспорт і техніка	технічний контроль, зменшення холостого ходу двигунів	зниження викидів CO, NO _x , сажі
Озеленення	створення зелених захисних	затримання пилу та

	смуг	покращення санітарного стану
Моніторинг	регулярний контроль концентрацій забруднювачів	своєчасне виявлення перевищень
Обслуговування обладнання	очищення фільтрів, перевірка вентиляторів і повітроводів	підтримання стабільної ефективності очищення

Реалізацію запропонованих заходів доцільно здійснювати поетапно. На першому етапі слід впровадити заходи, які мають найбільший екологічний ефект: встановлення аспіраційної системи з рукавним фільтром, фільтрів на силосах цементу та локальних укриттів у зоні розвантаження цементу. На другому етапі варто реалізувати заходи пилопригнічення на відкритих складах і транспортних шляхах. На третьому етапі необхідно організувати систему регулярного моніторингу та технічного обслуговування обладнання.

Таблиця 4.16. Черговість впровадження природоохоронних заходів

Етап	Заходи	Пріоритетність
I етап	аспіраційна система, рукавний фільтр, фільтри силосів цементу	висока
II етап	укриття місць пересипання, зволоження складів, очищення доріг	висока / середня
III етап	озеленення меж території, обмеження швидкості транспорту	середня
IV етап	регулярний моніторинг, технічне обслуговування, аналіз ефективності	постійна

Очікуваний результат від упровадження запропонованих рекомендацій полягає у зменшенні концентрацій пилу в основних виробничих зонах до рівнів, нижчих за нормативні значення. Зокрема, концентрація зважених частинок біля бетонозмішувальної установки може знизитися з 0,76 мг/м³ до 0,152 мг/м³, а концентрація цементного пилу — з 0,40 мг/м³ до 0,080 мг/м³. Це дозволить усунути перевищення нормативів і покращити якість атмосферного повітря.

Крім екологічного ефекту, запропоновані заходи мають санітарно-гігієнічне та виробниче значення. Зменшення запиленості сприятиме покращенню умов праці, зниженню ризику впливу цементного пилу на працівників, зменшенню осідання пилу на обладнанні та території підприємства. Це також позитивно вплине на стан прилеглих зелених насаджень і зменшить можливе перенесення пилу за межі виробничої зони.

Отже, для зменшення рівня забруднення атмосферного повітря на підприємстві «Гарант+ Буд» доцільно впровадити комплекс технічних, організаційних і моніторингових заходів. Найбільш ефективними є аспіраційна система з рукавним фільтром, картриджні фільтри на силосах цементу, локальні укриття місць пересипання, заходи пилопригнічення на складах і транспортних шляхах, технічний контроль транспорту та озеленення меж території. Реалізація цих рекомендацій дозволить суттєво знизити пилові викиди, покращити стан атмосферного повітря та **підвищити рівень екологічної безпеки в межах села Ценжів.**

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі досліджено проблему зниження рівня забруднення атмосферного повітря шляхом впровадження сучасних газоочисних установок. У процесі виконання роботи було проаналізовано теоретичні основи забруднення атмосферного повітря, основні джерела утворення викидів, характеристику забруднюючих речовин, нормативно-правові вимоги у сфері охорони атмосферного повітря, а також сучасні методи очищення газоповітряних потоків.

Встановлено, що атмосферне повітря є важливою складовою навколишнього природного середовища, від стану якої залежить здоров'я населення, стабільність екосистем, якість ґрунтів, водних об'єктів і рослинного покриву. Основними джерелами його забруднення є промислові підприємства, енергетичні установки, транспорт, будівництво, житлово-комунальне господарство та об'єкти поводження з відходами. Найбільш небезпечними забруднювачами є пил, зважені частинки, оксиди нітрогену, оксид карбону, діоксид сульфору, леткі органічні сполуки, сажа та важкі метали.

У роботі розглянуто вплив забруднення атмосферного повітря на довкілля та здоров'я населення. З'ясовано, що пилові та газоподібні викиди можуть спричиняти погіршення стану рослинності, забруднення ґрунтів і водних об'єктів, утворення смогу, кислотних опадів, а також підвищення ризику захворювань органів дихання та серцево-судинної системи. Особливо небезпечним є тривалий вплив дрібнодисперсного пилу, який здатний проникати в організм людини та негативно впливати на її здоров'я.

Об'єктом практичного дослідження було підприємство «Гарант+ Буд», розташоване в селі Ценжів. Основними джерелами забруднення атмосферного повітря на підприємстві є технологічні процеси виробництва бетонних виробів, зокрема розвантаження цементу, зберігання сипучих матеріалів, дозування сухих компонентів, робота бетонозмішувальної установки та рух вантажного транспорту територією підприємства.

За результатами аналізу складу та обсягів викидів встановлено, що основним видом забруднення на досліджуваному об'єкті є пилове забруднення. Загальний валовий викид забруднюючих речовин до впровадження природоохоронних заходів становив 0,521 т/рік, з яких 0,416 т/рік, або 79,8 %, припадало на пилові речовини. Найбільший внесок у загальний обсяг викидів має ділянка дозування та змішування компонентів бетонної суміші — 0,240 т/рік, або близько 46,1 %.

Оцінка концентрацій основних забруднюючих речовин показала, що найбільші рівні забруднення спостерігаються біля бетонозмішувальної установки та в зоні розвантаження цементу. Концентрація зважених частинок біля бетонозмішувальної установки становила 0,76 мг/м³, що перевищує допустиме значення у 1,52 раза. Це підтверджує необхідність першочергового впровадження пилогазоочисних заходів саме в місцях інтенсивного пилоутворення.

У роботі обґрунтовано доцільність впровадження сучасної системи очищення газових викидів, що включає аспіраційну систему, рукавні та картриджні фільтри, локальні укриття місць пересипання матеріалів, а також заходи пилопригнічення на відкритих складах і транспортних шляхах. Таке обладнання дозволяє вловлювати пил безпосередньо в місцях його утворення, запобігати поширенню забруднюючих речовин у повітря та переводити частину неорганізованих викидів в організовані, які можна контролювати й обслуговувати.

Розрахунок ефективності очищення показав, що впровадження запропонованих газоочисних установок дозволяє зменшити пилові викиди на 76,2 %, а загальний обсяг викидів забруднюючих речовин — на 60,9 %. Після впровадження природоохоронних заходів концентрація зважених частинок біля бетонозмішувальної установки може знизитися з 0,76 мг/м³ до 0,152 мг/м³, а концентрація цементного пилу — з 0,40 мг/м³ до 0,080 мг/м³. Отже, запропоновані заходи дають змогу усунути перевищення нормативних значень і покращити якість атмосферного повітря.

Екологічний ефект від впровадження сучасних газоочисних установок полягає у зменшенні запиленості виробничої території, поліпшенні умов праці працівників, зниженні ризику поширення пилу за межі підприємства, зменшенні впливу на рослинність і ґрунтовий покрив прилеглих територій. Додатковим позитивним результатом є можливість збору вловленого цементного пилу з подальшим його частковим поверненням у виробничий процес або передачею на утилізацію.

Для підтримання стабільної ефективності роботи газоочисних установок запропоновано проводити регулярне технічне обслуговування обладнання, перевіряти герметичність повітроводів, стан фільтрувальних елементів, роботу вентиляторів і заповнення пилозбірників. Також важливим є здійснення систематичного екологічного моніторингу концентрацій пилу, зважених частинок, оксиду карбону, оксидів нітрогену та сажі в контрольних точках підприємства.

Отже, результати бакалаврської роботи підтверджують, що впровадження сучасних газоочисних установок є ефективним напрямом зниження рівня забруднення атмосферного повітря на підприємствах з виробництва бетонних виробів. Запропонований комплекс технічних, організаційних і моніторингових заходів дозволяє суттєво зменшити пилові викиди, забезпечити дотримання нормативів якості атмосферного повітря, покращити умови праці та підвищити рівень екологічної безпеки в межах села Ценжів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білявський Г. О., Фурдуй Р. С., Костіков І. Ю. Основи екології : підручник. Київ : Либідь, 2004. 408 с.
2. Бойченко С. В., Запорожець О. І., Матвеева О. Л. Транспортна екологія : навч. посіб. Київ : НАУ, 2017. 507 с.
3. Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г. та ін. Екологія автомобільного транспорту : навч. посіб. Київ : Основа, 2002. 312 с.
4. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навч. посіб. Київ : Знання, 2007. 422 с.
5. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць від забруднення хімічними та біологічними речовинами : ДСП 201-97 : затв. наказом МОЗ України від 09.07.1997 № 201.
6. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 16 с.
7. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
8. ДСТУ ISO 4225:2008. Якість повітря. Загальні аспекти. Словник. Київ : Держспоживстандарт України, 2008.
9. ДСТУ EN 13284-1:2016. Викиди стаціонарних джерел. Визначення масової концентрації пилу в низькому діапазоні. Частина 1. Ручний гравіметричний метод. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
10. ДСТУ ISO 16890-1:2019. Фільтри повітря для загальної вентиляції. Частина 1. Технічні умови, вимоги та система класифікації ефективності. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
11. Екологічна безпека : підручник / за ред. В. М. Шмандія. Херсон : Олді-Плюс, 2013. 366 с.
12. Закон України Про охорону атмосферного повітря від 16.10.1992 № 2707-XII.
13. Закон України Про охорону навколишнього природного середовища від

25.06.1991 № 1264-XII.

14. Закон України Про оцінку впливу на довкілля від 23.05.2017 № 2059-VIII.

15. Закон України Про управління відходами від 20.06.2022 № 2320-IX.

16. Клименко М. О., Прищепа А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля : підручник. Київ : Академія, 2006. 360 с.

17. Кучерявий В. П. Екологія : підручник. Львів : Світ, 2001. 500 с.

18. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря : наказ Міністерства енергетики та захисту довкілля України від 28.04.2020 № 277.

19. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. Київ : Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2022.

20. Порядок проведення робіт, пов'язаних з видачею дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, обліку суб'єктів господарювання, які отримали такі дозволи : постанова Кабінету Міністрів України від 13.03.2002 № 302.

21. Про затвердження Інструкції про вимоги до оформлення документів, в яких обґрунтовуються обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами : наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 27.06.2023 № 448.

22. Про затвердження Положення про порядок видачі дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами : постанова Кабінету Міністрів України від 29.05.1995 № 364.

23. Стан забруднення природного середовища на території України за даними мережі моніторингу гідрометеорологічних організацій. Київ : Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського.

24. Тарасова В. В., Малиновський А. С., Рибак М. Ф. Екологічна стандартизація і нормування антропогенного навантаження на природне середовище : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 276 с.

25. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р. Екологічна безпека атмосферного повітря : навч. посіб. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2018. 204 с.
26. Air Pollution Control Cost Manual. Section 6. Particulate Matter Controls. Research Triangle Park : U.S. Environmental Protection Agency, 2017.
27. Air Quality in Europe — 2023 Report. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2023.
28. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors. Chapter 11.12. Concrete Batching. Research Triangle Park : U.S. Environmental Protection Agency, 2001.
29. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors. Chapter 13.2.1. Paved Roads. Research Triangle Park : U.S. Environmental Protection Agency, 2011.
30. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors. Chapter 13.2.2. Unpaved Roads. Research Triangle Park : U.S. Environmental Protection Agency, 2006.
31. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors. Chapter 13.2.4. Aggregate Handling and Storage Piles. Research Triangle Park : U.S. Environmental Protection Agency, 2006.
32. Cheremisinoff N. P. Handbook of Air Pollution Prevention and Control. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002. 562 p.
33. Cooper C. D., Alley F. C. Air Pollution Control: A Design Approach. 4th ed. Long Grove : Waveland Press, 2011. 839 p.
34. de Nevers N. Air Pollution Control Engineering. 3rd ed. Long Grove : Waveland Press, 2017. 658 p.
35. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2023. Copenhagen : European Environment Agency, 2023.
36. European Commission. Best Available Techniques Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2013.
37. European Commission. Commission Implementing Decision 2013/163/EU establishing BAT conclusions for the production of cement, lime and magnesium oxide. Official Journal of the European Union. 2013.
38. Hinds W. C. Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of

Airborne Particles. 2nd ed. New York : Wiley, 1999. 504 p.

39. IFC. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Cement and Lime Manufacturing. Washington : International Finance Corporation, 2007.

40. IFC. General Environmental, Health, and Safety Guidelines: Environmental Air Emissions and Ambient Air Quality. Washington : International Finance Corporation, 2007.

41. NPI. Emission Estimation Technique Manual for Concrete Batching and Concrete Product Manufacturing. Canberra : Department of the Environment and Heritage, 1999.

42. Perry R. H., Green D. W., Southard M. Z. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 9th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2019.

43. Schnelle K. B., Brown C. A. Air Pollution Control Technology Handbook. Boca Raton : CRC Press, 2002. 408 p.

44. Seinfeld J. H., Pandis S. N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. 3rd ed. Hoboken : Wiley, 2016. 1152 p.

45. Sutherland K. Filters and Filtration Handbook. 5th ed. Oxford : Elsevier, 2008. 536 p.

46. Theodore L. Air Pollution Control Equipment Calculations. Hoboken : Wiley, 2008. 576 p.

47. Vallero D. Fundamentals of Air Pollution. 5th ed. Amsterdam : Academic Press, 2014. 968 p.

48. Wark K., Warner C. F., Davis W. T. Air Pollution: Its Origin and Control. 3rd ed. New York : Addison-Wesley, 1998. 573 p.

49. WHO. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter PM_{2.5} and PM₁₀, Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Geneva : World Health Organization, 2021.

50. World Bank Group. Pollution Prevention and Abatement Handbook 1998: Toward Cleaner Production. Washington : World Bank, 1999.