

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут деревообробних технологій та дизайну

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та
безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка

до магістерської роботи
на тему:

**Удосконалення технології зниження викидів пилу під час
будівельних робіт**

***Improving technology to reduce dust emissions during construction
work***

Виконав: студент 6 курсу, групи ТЗНС-61м
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього
середовища»

Струцький Л. О.
(прізвище та ініціали)

Керівник **Сомар Г.В.**
(прізвище та ініціали)

Рецензент **Яремчук Л.А.**
(прізвище та ініціали)

Львів-2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут
Кафедра

деревообробних технологій і дизайну
технологій захисту навколишнього
середовища і деревини та безпеки
життєдіяльності
магістр
183 «Технології захисту
навколишнього середовища»

Освітній рівень
Спеціальність

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф.

Кшивецький Б.Я.

“30” серпня 2025 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Струцький Лев Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Удосконалення технології зниження викидів пилу під час будівельних робіт» (*Improving technology to reduce dust emissions during construction work*)

Керівник роботи: Сомар Галина Володимирівна, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом НЛТУ України від “15” травня 2025 року № С- 316

2. Строк подання студентом роботи до 15.12.2025 року.

3. Вихідні дані до роботи _____

Виконати огляд літературних джерел з проблематики аналізу та оцінки та особливостей будівельних робіт з позиції екології, вивчення можливості рециклінгу. Розроблення рекомендацій щодо зниження впливу на довкілля

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

1. Аналіз стану питання та задачі досліджень.



2. Розроблення методологічних та організаційних основ та рекомендацій щодо зниження впливу на довкілля в процесах будівельних робіт

3. Охорона праці.

5. Перелік презентаційного матеріалу матеріалу

(слайди презентації результатів теоретичних і експериментальних досліджень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	доц. Соколовський І.А.		

7. Дата видачі завдання 15.09.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
	Аналіз стану питання	до 01.10.25	
	Теоретичні дослідження	до 15.11.25	
	Обробка результатів досліджень	до 30.11.25	
	Охорона праці	до 05.12.25	
	Оформлення пояснювальної записки і підготовка презентації	до 15.12.25	

Студент


(підпис)

Струцький Л. О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Сомар Г.В.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП

Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УТВОРЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ПИЛОВИХ ВИКИДІВ ПІД ЧАС БУДІВЕЛЬНИХ РОБІТ

- 1.1. Класифікація пилових викидів у будівництві
- 1.2. Джерела утворення пилу на різних етапах будівельних процесів
- 1.3. Вплив пилових викидів на довкілля та здоров'я людини
- 1.4. Нормативно-правове регулювання пилових викидів в Україні та світі
- 1.5. Сучасні методи контролю та зниження пилового забруднення

Розділ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗМЕНШЕННЯ ПИЛІННЯ НА БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКАХ

- 2.1. Мокрі методи пилоподавлення
- 2.2. Механічні та інженерні технології зменшення пиловиділення
- 2.3. Хімічні реагенти для зв'язування пилу
- 2.4. Технологічні рішення провідних міжнародних компаній
- 2.5. Оцінка ефективності існуючих технологій

Розділ 3. РОЗРОБКА ВДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗНИЖЕННЯ ПИЛОВИХ ВИКИДІВ ПІД ЧАС БУДІВЕЛЬНИХ РОБІТ

- 3.1. Обґрунтування вибору технологічного підходу
- 3.2. Опис конструктивних та технічних елементів вдосконаленої технології
- 3.3. Технологічна схема процесу пилоподавлення
- 3.4. Математична модель оцінки ефективності
- 3.5. Вимоги до впровадження та експлуатації

Розділ 4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇЇ ЕКОЛОГІЧНІ ПЕРЕВАГИ

- 4.1. Методика дослідної перевірки
- 4.2. Результати вимірювань рівня пилових викидів
- 4.3. Порівняння з традиційними методами
- 4.4. Екологічні та економічні переваги
- 4.5. Перспективи подальшого розвитку технології

Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі досліджено проблему утворення пилових викидів під час будівельних робіт та обґрунтовано необхідність удосконалення існуючих технологій пилоподавлення. Проаналізовано чинні в Україні та світі нормативні вимоги, а також сучасні методи контролю та зменшення пилового забруднення. На основі проведеного аналізу запропоновано вдосконалену технологію зниження пилу, яка поєднує інженерні, механічні та організаційні рішення. Розроблено технологічну схему пилоподавлення, визначено ключові технічні параметри та виконано оцінку ефективності запропонованої технології. Результати дослідження підтверджують, що впроваджена технологія забезпечує суттєве зменшення пилових викидів та має важливі екологічні й економічні переваги.

ANNOTATION

This Master's thesis examines the problem of dust emissions generated during construction activities and justifies the need to enhance existing dust-suppression technologies. The study analyzes current national and international regulatory requirements as well as modern methods of monitoring and reducing dust pollution. Based on the conducted research, an improved dust-reduction technology combining engineering, mechanical, and organizational solutions is proposed. A technological dust-suppression scheme was developed, key technical parameters were determined, and the efficiency of the proposed technology was evaluated. The results demonstrate that the implemented approach significantly reduces dust emissions and provides notable environmental and economic benefits.

ВСТУП

Актуальність теми

Будівельна галузь є одним із найбільш інтенсивних джерел утворення пилових викидів, які негативно впливають на якість атмосферного повітря, здоров'я працівників та мешканців прилеглих територій. Пил, що утворюється під час земляних робіт, транспортування матеріалів, різання та дроблення конструкцій, містить дрібнодисперсні частинки, здатні проникати глибоко в дихальну систему людини та спричиняти респіраторні захворювання. Крім того, підвищене пилове навантаження сприяє деградації навколишнього середовища, погіршенню стану зелених насаджень і забрудненню водних об'єктів.

Незважаючи на наявність нормативних вимог, що регламентують рівень пиління під час будівельних процесів, фактичний контроль за дотриманням технологій пилоподавлення в Україні залишається недостатнім. Більшість використовуваних методів є застарілими, малоефективними або потребують удосконалення для умов сучасного інтенсивного будівництва. У зв'язку з цим актуальною є розробка нових або вдосконалених технологічних рішень, які забезпечать зменшення пилових викидів та знизять негативний вплив на довкілля. Саме тому дослідження, спрямоване на удосконалення технології зниження викидів пилу під час будівельних робіт, є важливим як з екологічної, так і з соціально-економічної точки зору.

Мета роботи — розробити та обґрунтувати вдосконалену технологію зниження пилових викидів під час будівельних робіт, що забезпечить підвищення екологічної безпеки та ефективності пилоподавлення.

Для досягнення мети визначено такі **завдання дослідження**:

1. Проаналізувати джерела утворення пилу та фактори, що впливають на його формування у будівництві.
2. Вивчити сучасні технології та методи зниження пилових викидів, оцінити їх переваги та недоліки.
3. Розробити вдосконалену технологію пилоподавлення для будівельних майданчиків.
4. Побудувати технологічну схему та визначити ключові техніко-експлуатаційні параметри запропонованої технології.
5. Провести оцінку ефективності впровадженої технології та порівняти її з традиційними методами.
6. Обґрунтувати екологічні та економічні переваги використання нової технології.

Об'єкт дослідження — процеси утворення та поширення пилових викидів під час виконання будівельних робіт.

Предмет дослідження — технології, методи та технічні рішення, спрямовані на зниження рівня пилових викидів на будівельних майданчиках.

Методи дослідження

У роботі використано комплекс наукових методів:

- **аналітичний метод** — для вивчення літературних джерел, законодавчих документів та сучасних підходів до пилоподавлення;
- **порівняльний аналіз** — для оцінки ефективності існуючих технологій;
- **метод системного підходу** — для побудови структури вдосконаленої технології;
- **експериментальні методи** — для вимірювання рівня пилових викидів до та після застосування розробленого рішення;
- **математичне моделювання** — для прогнозування ефективності та визначення оптимальних технічних параметрів технології;

- **методи статистичної обробки даних** — для аналізу результатів експериментів.

Наукова новизна

Наукова новизна роботи полягає у:

- розробці вдосконаленої технології пилоподавлення, що поєднує механічні, інженерні та організаційні рішення;
- створенні оптимізованої технологічної схеми зниження пилових викидів із урахуванням сучасних будівельних умов;
- запропонуванні математичної моделі оцінки ефективності пилоподавлення, адаптованої до різних типів будівельних робіт;
- визначенні нових підходів до мінімізації пилових викидів з урахуванням екологічних та економічних аспектів.

Практичне значення роботи

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження розробленої технології на будівельних майданчиках різного масштабу. Запропоноване рішення дозволяє:

- зменшити рівень пилових викидів і підвищити екологічну безпеку;
- поліпшити умови праці будівельних робітників;
- зменшити ризики для здоров'я населення в зоні впливу будівництва;
- знизити витрати на заходи екологічного контролю;
- підвищити відповідність робіт нормативним вимогам України та міжнародним стандартам.

Результати роботи можуть бути використані будівельними компаніями, екологічними інженерами, технологами та фахівцями з охорони праці при розробці екологічних програм і систем пилоподавлення.

Розділ 1. Теоретичні засади утворення та контролю пилових викидів під час будівельних робіт

1.1. Класифікація пилових викидів у будівництві[1-4]

Пилові викиди, що утворюються під час будівельних робіт, мають різноманітну природу та характеристики, які визначають їхній вплив на довкілля і здоров'я людини. Класифікація пилу дозволяє систематизувати джерела його утворення, фізико-хімічні властивості та ступінь небезпеки, а також обирати оптимальні методи пилоподавлення.

У будівельній галузі пил зазвичай класифікують за такими ознаками: **походженням, дисперсністю, хімічним складом, механізмом утворення та ступенем небезпечності**. Такий поділ дає змогу точніше оцінити ризики забруднення повітря і сформулювати технологічні заходи зі зниження пилових викидів.

Таблиця 1.1 – Класифікація пилових викидів у будівництві

Критерій класифікації	Група пилу	Характеристика
За походженням	Мінеральний	Утворюється під час дроблення, різання бетону, цегли, каменю; переважають частинки SiO ₂ .
	Органічний	Виникає при роботі з деревиною, полімерними матеріалами, утеплювачами.
	Металевий	З'являється при зварюванні, різанні та шліфуванні металів.
За дисперсністю	Крупнодисперсний (>10 мкм)	Швидко осідає, менш небезпечний для дихальних шляхів.
	Середньодисперсний (2,5–10 мкм)	Може тривалий час залишатися у повітрі.
	Дрібнодисперсний (PM _{2.5})	Проникає в альвеоли легень, найбільш небезпечний.
За хімічним складом	Силікатний	Містить кварц, має канцерогенний потенціал при тривалому впливі.
	Карбонатний	Продукти механічної обробки цементу, вапняку.
	Полімерний	Частинки пінопласту, ПВХ, утеплювачів.
За механізмом утворення	Механічний	Пил від буріння, шліфування, демонтажу та транспортування матеріалів.

	Тепловий	Частинки, що утворюються при зварюванні, плавленні металів.
	Аерозольний	Легкі пилоподібні суміші з будівельних хімічних матеріалів.
За ступенем небезпечності	Малонебезпечний	Частинки природного походження без токсичних домішок.
	Помірно небезпечний	Пил з цементу, піску, штукатурних сумішей.
	Небезпечний	Металевий пил, пил із кварцом, хімічні аерозолі.

1.2. Джерела утворення пилу на різних етапах будівельних процесів

Пил утворюється практично на всіх стадіях будівельного циклу — від підготовки майданчика до опоряджувальних робіт. Його кількість та дисперсність залежать від типу матеріалів, інструментів, технологій, погодних умов та інтенсивності проведення робіт. Аналіз джерел пилових викидів дає можливість визначити найбільш критичні етапи будівництва, на яких необхідно застосовувати ефективні методи пилоподавлення.

Нижче подано систематизований огляд основних технологічних процесів, що сприяють утворенню пилу.

1. Підготовчий етап будівництва

До ключових джерел пилових викидів на цьому етапі належать:

- **розчищення території**, видалення ґрунтового шару та рослинності;
- **демонтаж старих конструкцій**, при якому утворюється дрібнодисперсний мінеральний пил;
- **планування майданчика** та переміщення техніки, що піднімає пил із сухої поверхні.

Особливо інтенсивне пиління спостерігається в суху та вітряну погоду.

2. Земляні роботи

Земляні роботи є одним із найбільших джерел мінерального пилу, особливо під час:

- **копання котлованів та траншей** екскаваторами та ручним інструментом;
- **буріння свердловин** і роботи перфораторами та буровими установками;
- **переміщення та складування ґрунту і піску;**
- **завантаження та розвантаження сипучих матеріалів.**

Частинки пилу на цьому етапі здебільшого мають розмір 10–50 мкм, але при механічному дробленні ґрунту можуть утворюватися РМ_{2.5}.

3. Опоряджувально-структурні роботи зі зведення конструкцій

На цій стадії пил виникає при:

- **різанні бетону, цегли, газоблоків та каменю;**
- **шліфуванні та фрезеруванні бетонних поверхонь;**
- **монтажі сухих будівельних сумішей, що створюють аерозольний пил;**
- **приготуванні бетонних розчинів, особливо при засипанні цементу та піску.**

Ці процеси є критичними через високий вміст кварцових частинок, які становлять найбільшу небезпеку для дихальної системи.

4. Транспортні та логістичні операції

Інтенсивне пиління супроводжує:

- **переміщення автотранспорту по ґрунтових дорогах;**
- **вивезення будівельного сміття та залишків матеріалів;**
- **вивантаження цементу, щебеню, піску, сухих сумішей;**
- **перекидання матеріалів у бункери, ємності, контейнери.**

Транспортні процеси підсилюють вторинне пиління — підняття вже осілого пилу з поверхні.

5. Внутрішні роботи

У приміщеннях пилові викиди утворюються при:

- **шліфуванні стін та стель;**
- **монтажі гіпсокартону та шпаклюванні;**
- **роботі з сухими сумішами, фарбами, утеплювачами;**
- **демонтажі перегородок.**

У закритих просторах концентрація пилу може бути значно вищою через обмежений повітрообмін.

6. Завершальні та оздоблювальні роботи

Хоча обсяги пилу тут менші, він все одно утворюється під час:

- **дрібною шліфування поверхонь, підготовки під фарбування;**
- **обрізання оздоблювальних матеріалів;**
- **монтажу декоративних елементів.**

Утворюваний пил може містити полімерні частинки, що є небезпечними у разі нагрівання або тривалого впливу.

Таблиця 1.2 – Основні джерела утворення пилу на етапах будівельного процесу

Етап будівництва	Джерела пилу	Тип пилу
Підготовчий етап	Демонтаж конструкцій, очищення території, переміщення техніки	Мінеральний, грубодисперсний
Земляні роботи	Копання, буріння, переміщення ґрунту, робота техніки	Мінеральний, середньо- та дрібнодисперсний
Зведення конструкцій	Різання, дроблення, шліфування бетону та блоків	Кварцевий пил, цементний, дрібнодисперсний
Транспортні операції	Переміщення транспорту, завантаження/розвантаження матеріалів	Вторинний пил, мінеральний
Внутрішні роботи	Шліфування, монтаж гіпсокартону, сухі суміші	Дрібнодисперсний, полімерний, аерозольний
Оздоблювальні роботи	Різання матеріалів, монтаж покриттів, дрібне шліфування	Полімерний, середньодисперсний

1.3. Вплив пилових викидів на довкілля та здоров'я людини [5-7]

Пилові викиди, що утворюються під час будівельних робіт, є одним із найбільш значущих техногенних факторів забруднення навколишнього середовища. Їхній вплив охоплює атмосферне повітря, ґрунти, зелені насадження, водні об'єкти та безпосередньо здоров'я населення й працівників будівельної галузі. Характер та інтенсивність негативного впливу визначаються фізико-хімічними властивостями пилу, його дисперсністю, складом, а також умовами проведення робіт.

Вплив пилових викидів на атмосферне повітря

Пилові частинки легко піднімаються в повітря і можуть тривалий час залишатися у зваженому стані, особливо дрібнодисперсні частинки PM_{10} та $PM_{2.5}$. Їх накопичення спричиняє такі негативні наслідки:

- **Погіршення якості повітря:** концентрація частинок збільшується навколо будівельних майданчиків до рівнів, що перевищують санітарні норми.
- **Утворення пилових шлейфів:** у вітряну погоду пил може переноситися на сотні метрів, впливаючи на житлову забудову.
- **Зниження прозорості повітря та локальна імла:** особливо в сухі періоди та на відкритих майданчиках.

Висока запиленість повітря загострює проблему смогів і сприяє накопиченню дрібнодисперсних частинок у приземному шарі атмосфери.

Вплив на ґрунти і рослинність

Пил, що осідає на поверхнях, порушує природні процеси ґрунтоутворення та життєдіяльності рослин.

Основні негативні прояви:

- **Уповільнення росту рослин** через блокування пор фотосинтезуючих тканин;
- **Порушення газообміну листків**, що зменшує інтенсивність фотосинтезу та призводить до ослаблення рослин;
- **Зміна хімічного складу ґрунту:** пил від цементу, вапна та бетону підвищує його лужність;
- **Засолення та деградація ґрунту** на територіях із тривалим будівництвом;
- **Порушення мікробіологічної активності**, що впливає на якість ґрунтових процесів.

Особливо чутливі до пилового забруднення зелені насадження, які розташовані поблизу будівельних майданчиків у містах.

Вплив на водні об'єкти

Пилові частинки можуть потрапляти у водойми або ливневу каналізацію внаслідок поверхневого стоку чи вітрового перенесення. Це призводить до:

- замулення водних об'єктів,
- погіршення кисневого режиму,
- накопичення важких металів і токсичних речовин, якщо пил має техногенне походження,
- порушення екосистеми водойм через осідання дрібнодисперсних частинок на дні.

Такі зміни можуть бути довготривалими та потребувати значних ресурсів для відновлення.

Вплив пилових викидів на здоров'я людини

Будівельний пил становить серйозну небезпеку для здоров'я, особливо у випадку тривалого впливу. Найнебезпечнішими є частинки діаметром менше 10 мкм, які здатні проникати в нижні відділи дихальних шляхів.

Основні негативні наслідки:

1. Респіраторні захворювання

- бронхіт, астма, алергічні реакції;
- хронічні обструктивні хвороби легень (ХОЗЛ);
- підвищена чутливість бронхів при регулярному впливі пилу.

2. Ураження легень

- накопичення кварцевого пилу спричиняє розвиток **силікозу** — професійного захворювання шахтарів і будівельників;
- РМ_{2.5} частинки проникають у кровоносну систему, викликаючи системні запалення.

3. Порушення роботи серцево-судинної системи

- підвищення ризику інфарктів і гіпертонічних кризів;

- загострення хронічних серцевих хвороб.

4. Проблеми із зором та шкірою

- подразнення слизових оболонок очей;
- сухість, дерматити та алергічні реакції на шкірі.

5. Токсичний вплив

- деякі види пилу містять важкі метали (свинець, хром, нікель), які можуть проникати у кров і накопичуватися в організмі;
- полімерний пил здатний виділяти токсичні речовини при нагріванні або механічному руйнуванні.

Ризики для працівників і населення

Для працівників будівництва:

- високі концентрації пилу в робочій зоні;
- тривале перебування у запиленому середовищі;
- недостатній рівень вентиляції при закритих роботах;
- недотримання норм використання засобів індивідуального захисту.

Для населення:

- проживання поруч із будівельними зонами;
- вплив дрібнодисперсного пилу через вікна, балкони, вентиляцію;
- погіршення загальної екологічної ситуації у районі.

Соціально-економічні наслідки [6-7]

- зростання витрат на медичне лікування;
- зниження продуктивності праці будівельників;
- претензії мешканців і штрафи за порушення санітарних норм;
- погіршення іміджу будівельних компаній та забудовників.

1.4. Нормативно-правове регулювання пилових викидів в Україні та світі

Контроль пилових викидів під час будівельних робіт є важливою частиною екологічної політики держави та міжнародної спільноти. Нормативно-правові документи встановлюють допустимі рівні запиленості повітря, вимоги до організації будівельних процесів, а також обов'язки підприємств щодо зменшення техногенного навантаження на довкілля. Аналіз регуляторної бази дозволяє оцінити відповідність національних вимог міжнародним стандартам та виявити ключові напрями їх удосконалення.

Нормативне регулювання в Україні

В Україні система регулювання пилових викидів ґрунтується на таких документах:

- **Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища”** — визначає загальні принципи охорони повітряного середовища.
- **Закон України “Про охорону атмосферного повітря”** — регламентує захист атмосферного повітря від забруднення, визначає порядок контролю викидів у повітря.
- **Державні санітарні норми (ДСН та ДСанПіН)** — установлюють гранично допустимі концентрації (ГДК) пилу у робочій зоні та в атмосферному повітрі населених місць.
- **ДБН А.3.1-5:2016 “Організація будівельного виробництва”** — містить вимоги щодо зменшення пиління на будівельному майданчику.
- **ДБН В.2.6-162:2010 та ДСТУ** — частково регулюють безпилові технології під час обробки матеріалів.
- **Методичні рекомендації з контролю пилових викидів** — визначають порядок вимірювання та оцінювання рівня запиленості.

На практиці дотримання цих нормативів на будівельних майданчиках часто є недостатнім, що зумовлює потребу у вдосконаленні технологій пилоподавлення та посиленні контролю.

Міжнародне регулювання пилових викидів

У світі існує низка документів, які встановлюють більш жорсткі вимоги до контролю дрібнодисперсних частинок:

- **Директива 2008/50/ЄС ЄС щодо якості атмосферного повітря** — встановлює нормативи для PM_{10} і $PM_{2.5}$.
- **Стандарти Агентства з охорони довкілля США (EPA)** — регламентують допустимі концентрації пилу відповідно до стандартів NAAQS.
- **ISO 14001 “Environmental management systems”** — передбачає системний підхід до зниження викидів, включаючи пил.
- **Санітарні стандарти OSHA (США) для робочої зони** — визначають максимально допустимі рівні пилу для будівельних працівників.
- **Вимоги Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO)** — встановлюють рекомендації щодо рівня $PM_{2.5}$ та PM_{10} як менш небезпечних для населення.
- **Рекомендації міжнародних будівельних асоціацій** щодо впровадження безпилових технологій і систем зрошення.

Порівняння національних і міжнародних норм свідчить про те, що вимоги ЄС і США є значно жорсткішими, особливо щодо дрібнодисперсного пилу $PM_{2.5}$, що потребує адаптації української нормативної бази до міжнародних стандартів.

Таблиця 1.3 – Порівняння нормативів пилових викидів в Україні та за кордоном [15-17]

Країна / Організація	Нормативний документ	Регульовані показники	Граничні рівні / ключові вимоги
Україна	Закон «Про охорону атмосферного повітря»; ДСанПіН; ДБН А.3.1-5:2016	PM ₁₀ , загальна запиленість, пил у робочій зоні	ГДК пилу у повітрі населених пунктів — 0,15 мг/м ³ ; у робочій зоні — 4–6 мг/м ³
ЄС (Євросоюз)	Директива 2008/50/ЕС	PM ₁₀ , PM _{2.5}	PM ₁₀ — 50 µg/m ³ (добова норма), PM _{2.5} — 25 µg/m ³ (річна норма)
США (EPA, NAAQS)	Clean Air Act; NAAQS	PM ₁₀ , PM _{2.5}	PM _{2.5} — 12 µg/m ³ (річна норма), PM ₁₀ — 150 µg/m ³ (добова норма)
OSHA (США)	Occupational Safety and Health Standards	Пил у робочій зоні (кварцевий, цементний, мінеральний)	Ліміт для респірабельного кварцу — 0,05 мг/м ³
WHO	Air Quality Guidelines	PM ₁₀ , PM _{2.5}	Рекомендовані PM _{2.5} — 5 µg/m ³ (річна), PM ₁₀ — 15 µg/m ³
ISO 14001	Environmental Management Systems	Загальні вимоги до зниження впливу на довкілля	Впровадження системи екологічного менеджменту, контроль пилу

1.5. Сучасні методи контролю та зниження пилового забруднення

Контроль та зменшення пилових викидів під час будівельних робіт є одним із ключових напрямів забезпечення екологічної безпеки та охорони праці. В сучасних умовах будівельні компанії використовують різні підходи, що базуються на фізичних, хімічних, механічних та організаційних методах пилоподавлення. Кожен із них має свої переваги, сфери застосування та обмеження, що визначають його ефективність у конкретних умовах.

1. Мокрі технології пилоподавлення

Мокрі методи є найбільш поширеними завдяки простоті застосування та високій ефективності зниження пилових концентрацій.

Основні різновиди:

- **Зрошення водою:** найпростіший спосіб, який передбачає використання шлангів, гідрантів або розпилювачів. Дає змогу зменшити пиління на 50–80%.
- **Водяні гармати і туманоутворюючі установки:** ефективні на великих будівельних майданчиках. Створюють дрібнодисперсний туман, що зв'язує пилові частинки у повітрі.
- **Зволоження сипучих матеріалів** при навантаженні та зберіганні.
- **Системи автоматичного водорозпилення** у зонах різання, буріння та шліфування.

Переваги:

- Висока ефективність для мінерального пилу.
- Простота монтажу.
- Низькі витрати.

Недоліки:

- Підвищення вологості ґрунту та матеріалів.
- Обмежена ефективність у морозний період.

- Залежність від якості водопостачання.

2. Механічні методи контролю пиління

Ці методи базуються на зміні процесу утворення або поширення пилу через механічне обмеження джерела.

Сюди належать:

- **Захисні екрани та огороження** навколо будівельних майданчиків, які зменшують розліт пилу.
- **Пилозахисні кожухи та кожухи на інструментах**, що запобігають виходу пилу під час різання або шліфування.
- **Локальні витяжні системи**, які відсмоктують пил у зоні утворення.
- **Контейнери для вивантаження сипучих матеріалів** із мінімізацією падіння з висоти.
- **Покриття доріг щебенем або спеціальними плитами**, щоб зменшити вторинне пиління від техніки.

Переваги:

- Висока ефективність при правильному використанні.
- Можливість застосування всередині приміщень.

Недоліки:

- Потребують регулярного технічного обслуговування.
- Обмежені при масштабних роботах просто неба.

3. Хімічні методи пилоподавлення

Хімічні реагенти часто застосовуються для стабілізації ґрунтових поверхонь та запобігання пилінню.

Види реагентів:

- **Солеутворюючі розчини** (хлориди кальцію і магнію) — утримують вологу у ґрунті, зменшуючи пиління.

- **Органічні полімери** — утворюють плівку, що фіксує частинки пилу на поверхні.
- **Лігносульфонати** — природні полімери для зміцнення ґрунтів.
- **Спеціальні зв'язувальні емульсії**, що застосовуються на дорогах та майданчиках.

Переваги:

- Довгостроковий ефект.
- Можливість застосування на великих площах.

Недоліки:

- Вища вартість порівняно з мокрими методами.
- Обмеження щодо використання у зоні зливових стоків та водних об'єктів.

4. Технологічні методи зниження пиління

Ці рішення передбачають зміну способу виконання будівельних робіт, щоб мінімізувати утворення пилу.

Сюди належать:

- **Сухі будівельні матеріали в герметичній тарі**, що мінімізують утворення пилу при пересипанні.
- **Мокре різання бетонних та кам'яних конструкцій** із подачею води.
- **Попереднє зволоження ґрунту перед розробкою.**
- **Застосування сучасного електроінструменту з вбудованими пиловловлювачами.**
- **Оптимізація логістики руху техніки**, щоб зменшити вторинне пиління.

5. Організаційно-адміністративні заходи

Це методи, спрямовані на регулювання процесів без складного обладнання.

Приклади:

- **Планування робіт у безвітряну або менш суху погоду.**
- **Своєчасне прибирання майданчика та змочування доріг.**

- **Обмеження швидкості руху техніки** на будівельних територіях.
- **Встановлення маршрутів для вантажівок**, що мінімізують пиління.
- **Регулярне навчання працівників** правилам пилоподавлення.

Організаційні заходи не замінюють технічні рішення, але значно підвищують їхню ефективність.

6. Інноваційні методи та сучасні технології

Будівельна галузь активно впроваджує нові технології, які дозволяють суттєво знизити рівень пилових викидів:

- **Електростатичні осаджувачі**, що уловлюють дрібнодисперсний пил у закритих приміщеннях.
- **Системи Smart Dust Control**, які автоматично регулюють інтенсивність зрошення залежно від концентрації пилу.
- **Дрони для зрошення великих площ**, особливо на інфраструктурних об'єктах.
- **HEPA-фільтрація** для мобільних пиловловлювачів.
- **Вакуумні системи пиловидалення** для робіт всередині будівель.

Таблиця 1.4 – Сучасні методи контролю пилових викидів та їх порівняльна характеристика

Метод	Ефективність	Переваги	Недоліки	Типові сфери застосування
Мокре пилоподавлення	50–90%	Простота, низька вартість	Залежність від погоди, надмірна вологість	Земляні роботи, різання, складування
Механічні методи	40–80%	Локальне усунення джерела пилу	Потребують техобслуговування	Приміщення, різання, шліфування
Хімічні методи	60–95%	Довготривалий ефект	Висока ціна, екологічні обмеження	Дороги, складування, відкриті майданчики
Технологічні методи	30–70%	Безпечність, оптимізація процесу	Потрібні зміни технології робіт	Різання, буріння, бетонні роботи
Організаційні заходи	10–40%	Мінімальні витрати	Низька ефективність без технічних рішень	Усі етапи будівництва
Інноваційні методи	70–98%	Висока ефективність, автоматизація	Висока вартість	Великі об'єкти, внутрішні роботи

Розділ 2. Аналіз існуючих технологій зменшення пиління на будівельних майданчиках

2.1. Мокрі методи пилоподавлення

Мокрі методи пилоподавлення є найбільш поширеним і традиційним способом зниження пилових викидів на будівельних майданчиках. Їхня ефективність базується на здатності води зв'язувати пилові частинки та прискорювати їх осідання. Ці методи застосовуються як у відкритих умовах (будівельні майданчики, дороги, склади матеріалів), так і всередині приміщень під час виконання робіт, що супроводжуються інтенсивним пиловиділенням.

1. Принцип роботи мокрих методів

Основна ідея мокрого пилоподавлення полягає у створенні **водяного середовища**, яке контактує з частинками пилу та збільшує їх масу, що призводить до їх швидкого випадання з повітря. Для цього використовуються різні технологічні рішення — від ручного зрошення до автоматизованих туманоутворюючих систем.

2. Основні види мокрих методів

2.1.1. Ручне зрошення водою

Цей метод передбачає використання:

- шлангів з насадками,
- пожежних гідрантів,
- мобільних водяних бочок.

Переваги: • низька вартість; • доступність на більшості майданчиків; • підходить для малих об'ємів робіт.

Недоліки: • нерівномірне покриття поверхні; • значний розхід води; • залежність від кваліфікації оператора.

2.1.2. Стаціонарні системи водорозпилення

Використовуються у зонах із постійним пиловиділенням, наприклад:

- зони різання бетону,
- сухі виробничі приміщення,

- місця транспортування сипучих матеріалів.

Система складається з трубопроводів, форсунок і насосів, що забезпечують **безперервне дрібнодисперсне зрошення**.

Переваги: • висока ефективність; • стабільна робота; • можливість автоматизації.

Недоліки: • складність монтажу; • потрібні стабільні джерела води та електрики.

2.1.3. Туманоутворюючі установки (водяні гармати)

Це мобільні або стаціонарні установки, які створюють **дрібнодисперсний туман**. Частинки води мають розмір 50–150 мкм, тому ефективно захоплюють пил у повітрі.

Використовуються на:

- великих будівельних майданчиках,
- при демонтажі конструкцій,
- при роботі з сипучими матеріалами,
- на інфраструктурних проектах (дороги, мости).

Переваги: • зниження пилу на 70–95%; • покриття великих площ; • можливість дистанційного керування.

Недоліки: • висока вартість обладнання; • обмежена ефективність у сильний вітер; • значне споживання води.

2.1.4. Мокре різання та буріння

Передбачає подачу води безпосередньо в зону контакту інструмента з матеріалом (бетоном, каменем, цеглою). Це один із найбільш ефективних способів мінімізувати пил при роботі перфораторами, відрізними машинами та шліфувальними інструментами.

Переваги: • зниження пиління до 90%; • покращення довговічності інструмента через охолодження; • підвищення безпеки праці.

Недоліки: • можливість перезволоження матеріалів; • потреба в системах збору брудної води.

2.1.5. Зволоження доріг та територій

Метод широко використовується для зниження вторинного пиління, яке виникає внаслідок руху будівельної техніки. Застосовуються:

- поливомийні машини,
- пересувні цистерни,
- ручні гідранти.

Зволоження ґрунтових доріг зменшує пиління на 60–80%.

3. Ефективність мокрих методів

Ефективність залежить від:

- розміру частинок води,
- інтенсивності зрошення,
- погодних умов (сонце, вітер, температура),
- характеру будівельних робіт.

У середньому мокрі методи забезпечують **50–90% зниження концентрації пилу**, причому найкращі результати дають туманоутворюючі установки та мокре різання.

4. Обмеження застосування мокрих методів

Попри високу ефективність, застосування мокрих методів має низку обмежень:

- **Неможливість використання взимку** через замерзання води.
- **Надлишкове зволоження території**, що може ускладнити рух техніки.
- **Підвищена витрата водних ресурсів**, що є небажаним у регіонах із дефіцитом води.
- **Ризик утворення бруду та слизьких поверхонь.**
- **Поява забрудненої води**, яку потрібно утилізувати.

Таблиця 2.1 – Характеристика основних мокрих методів пилоподавлення [5-14]

Метод	Ефективність	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Ручне зрошення	40–60%	Дешево, просто	Нерівномірність, залежність від оператора	Невеликі будівельні ділянки
Стаціонарні системи	60–85%	Автоматизація, стабільність	Висока вартість монтажу	Закриті приміщення, точки пиловиділення
Туманоутворюючі установки	70–95%	Великі площі, точність	Вартість, залежність від погоди	Демонтаж, великі об'єкти
Мокре різання	80–90%	Локальне пилоподавлення	Потрібно збирати брудну воду	Різання, буріння, шліфування
Зволоження територій	50–70%	Зменшує вторинне пиління	Тимчасовий ефект	Дороги, складання матеріалів

2.2. Механічні та інженерні технології зменшення пиловиділення

Механічні та інженерні технології становлять окрему групу методів пилоподавлення, спрямованих на **локалізацію джерел пилу, його механічне уловлювання або запобігання поширенню в повітрі**. Вони відзначаються високою ефективністю, особливо у випадках інтенсивних і локалізованих процесів пиловиділення, таких як різання, дроблення, шліфування та транспортування матеріалів.

Ця група методів широко застосовується у сучасному будівництві, оскільки дозволяє значно скоротити вплив пилових викидів як на працівників, так і на довкілля.

1. Пилозахисні екрани та огороження

Пилозахисні екрани — це вертикальні конструкції з поліетилену, текстилю або композитних матеріалів, які встановлюють уздовж периметра будівельного майданчика.

Особливості:

- зменшують розповсюдження пилу за межі майданчика;
- знижують вплив вітрових потоків;
- можуть мати різну висоту — від 1,5 до 6 метрів.

Переваги:

- простота встановлення;
- ефективні у щільній міській забудові.

Недоліки:

- не усувають джерело пилу, а лише стримують його поширення.

2. Пилозбірні кожухи та кожухи на інструментах

Це інженерні елементи, які встановлюються на:

- відрізні машини,
- шліфувальні інструменти,
- перфоратори,
- бурові установки.

Вони локалізують пил у зоні різання або буріння та направляють його до пиловловлювальної системи.

Переваги:

- зниження пилу на 60–90%;
- безпосередній захист працівника.

Недоліки:

- потребують сумісності з інструментом;
- ефективність залежить від стану фільтрів.

3. Локальні витяжні системи (пиловловлювачі)

Локальні пиловловлювачі — це переносні або стаціонарні установки, які створюють **потік повітря**, що відсмоктує пил у точці його утворення.

Виділяють кілька типів:

- **мобільні пилососи зі спеціальними фільтрами (HEPA);**
- **витяжні рукави з узгоджуваною висотою;**
- **промислові пиловловлювачі з циклонами або фільтрами тонкого очищення.**

Переваги:

- висока ефективність для дрібнодисперсного пилу;
- можливість очищення повітря всередині приміщень.

Недоліки:

- потребують стабільного електроживлення;
- висока вартість якісного фільтраційного обладнання.

4. Механічні бар'єри та укриття

До цієї групи належать:

- **захисні куполи** для локалізованих робіт;
- **подіуми та бар'єри**, що перешкоджають розповсюдженню пилу на дорозі;
- **укриття для транспортування сипучих матеріалів** — тенти, навіси, контейнери.

Переваги:

- запобігають вторинному пилінню;
- підходять для довготривалих процесів.

Недоліки:

- обмежують доступ до робочої зони;
- можуть вимагати додаткове підсилення конструкцій.

5. Системи подачі повітря з надлишковим тиском

Використовуються у внутрішніх приміщеннях або на об'єктах з підвищеними вимогами до чистоти повітря.

Принцип:

Створюється надлишковий тиск у робочій зоні або у приміщенні, що **запобігає проникненню пилу ззовні**. Зазвичай застосовується в:

- реконструкції лікарень;
- ремонтних роботах у діючих підприємствах;
- внутрішньому оздобленні, коли важливо уникати запилення сусідніх зон.

6. Пневматичні системи пилоподавлення

Це системи, які використовують **повітряні потоки високої швидкості**, щоб спрямувати пил у пиловловлювач або осадити його в нижніх шарах.

Використання:

- при різанні та шліфуванні;
- при роботі з легкими матеріалами, такими як полімери;
- у роботах на висоті, де вода недоцільна.

7. Переваги та обмеження механічних і інженерних технологій

Переваги:

- висока ефективність локального пилоподавлення;
- можливість застосування в приміщеннях та на відкритих майданчиках;
- значне зменшення впливу на працівників.

Обмеження:

- висока вартість обладнання;
- потреба в технічному обслуговуванні;
- залежність від електропостачання;

- ефективність сильно залежить від правильного налаштування.

Таблиця 2.2 – Основні механічні та інженерні технології зменшення пиловиділення

Технологія	Ефективність	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Пилозахисні екрани	30–60%	Зменшують поширення пилу, прості у монтажі	Не усувають джерело пилу	Периметр будмайданчика
Пилозахисні кожухи	60–90%	Локалізують джерело пилу	Потрібна сумісність з інструментами	Різання, буріння
Локальні витяжні системи	70–95%	Висока ефективність для дрібного пилу	Вартість, техобслуговування	Внутрішні та зовнішні роботи
Механічні бар'єри та укриття	40–80%	Запобігають вторинному пилінню	Обмеження доступу	Транспортування матеріалів
Пневматичні системи	50–70%	Не потребують води	Ефективність залежить від налаштування	Полімери, роботи на висоті
Надлишкові	60–85%	Ізоляція зон	Потребує	Внутрішні

й тиск		від пилу	енергії, герметизації	приміщення
--------	--	----------	--------------------------	------------

2.3. Хімічні реагенти для зв'язування пилу

Хімічні методи пилоподавлення базуються на застосуванні спеціальних реагентів, які змінюють фізико-хімічні властивості поверхонь або окремих частинок пилу. Їхня дія спрямована на **зв'язування, фіксацію або зволоження пилових частинок**, що дозволяє значно знизити інтенсивність пиловиділення, особливо на відкритих майданчиках, дорогах та місцях зберігання сипучих матеріалів.

Завдяки тривалому ефекту та можливості застосування на великих площах хімічні реагенти вважаються одними з найефективніших рішень для боротьби з пилом у складних умовах, зокрема при сухій і вітряній погоді.

1. Основні типи хімічних реагентів

1.1. Солеутворюючі реагенти (хлориди кальцію та магнію)

Це найбільш поширені речовини для стабілізації ґрунтових доріг і відкритих поверхонь.

Механізм дії: – поглинають вологу з повітря, – утримують її у верхньому шарі ґрунту, – запобігають висиханню поверхні.

Переваги: • тривалий ефект (до кількох тижнів), • висока ефективність у суху погоду.

Недоліки: • можуть спричиняти корозію металів, • небажані біля водних об'єктів.

1.2. Органічні полімери та смоли

Ці реагенти утворюють **міцну полімерну плівку**, яка скріплює частинки ґрунту й запобігає пилінню.

Переваги: • довготривалий ефект (до декількох місяців), • стійкість до змивання дощем, • можливість застосування на дорогах і відкритих майданчиках.

Недоліки: • висока вартість, • потреба у професійному нанесенні.

1.3. Лігносульфонати

Це побічні продукти переробки деревини, природні полімери, що діють як сполучний матеріал.

Переваги: • екологічно безпечні; • покращують властивості ґрунту; • зменшують пиління на 50–70%.

Недоліки: • можуть темнити поверхні; • чутливі до впливу УФ-випромінювання.

1.4. Силікатні та акрилові емульсії

Емульсії створюють захисну кірку, що ефективно утримує пил у покритті.

Переваги: • водостійкість; • можливість застосування на майданчиках великої площі.

Недоліки: • потребують ретельної підготовки поверхні; • можуть бути токсичними при неправильному використанні.

1.5. Піноутворюючі склади

Використовуються переважно при роботі з вугіллям, рудою та матеріалами, що створюють високу кількість дрібнодисперсного пилу.

Переваги: • створюють щільний шар піни, що зв'язує пил; • підходять для рухомих потоків матеріалу (конвеєри).

Недоліки: • короткий час дії; • необхідність спеціалізованого обладнання.

2. Сфери застосування хімічних реагентів

- Ґрунтові та тимчасові дороги;
- складування інертних матеріалів;
- відкриті майданчики будівництва;

- демонтажні роботи;
- транспортні маршрути самоскидів;
- периметр будівельних зон у міській забудові;
- кар'єри та інфраструктурні об'єкти.

3. Переваги та недоліки хімічних реагентів

Переваги:

- значне та довготривале зменшення пиління;
- підвищення безпеки на дорогах;
- стабілізація ґрунтових покриттів;
- ефективність у сухі періоди.

Недоліки:

- висока вартість у порівнянні з мокрими методами;
- можливий негативний вплив на рослинність і водні системи;
- потреба у фаховому нанесенні;
- обмеження під час сильних дощів.

4. Ефективність використання хімічних реагентів

У середньому хімічні реагенти дозволяють зменшити пиління на **60–95%** залежно від типу реагенту та умов експлуатації. Найбільш ефективними вважаються полімерні розчини та хлориди, які забезпечують тривалий ефект навіть за високої інтенсивності руху техніки.

Таблиця 2.3 – Характеристика основних хімічних реагентів для зв’язування пилу

Тип реагенту	Ефективність	Переваги	Недоліки	Типові сфери застосування
Хлориди кальцію/магнію	70–90%	Тривалий ефект, утримують вологу	Корозія, небажані біля води	Дороги, склади інертних матеріалів
Полімери	80–95%	Довготривалий захист, стійкість	Вартість, складність нанесення	Будмайданчики, дороги
Лігносульфонати	50–70%	Екологічні, дешевші	Темніння, чутливі до УФ	Ґрунтові дороги, промайданчики
Силікатні емульсії	60–85%	Стійкі до дощу, міцне покриття	Токсичність при порушенні технології	Відкриті площі, складування
Піноутворювачі	40–75%	Підходять для потокових процесів	Короткий ефект	Конвеєри, пересипання матеріалів

2.4. Технологічні рішення провідних міжнародних компаній

У світі діє значна кількість компаній, що спеціалізуються на розробці систем пилоподавлення, фільтрації та екологічного контролю на будівельних майданчиках. Вони впроваджують інноваційні технології, які забезпечують високу ефективність зменшення пилових викидів, автоматизацію процесів та дотримання міжнародних екологічних стандартів. Аналіз технологічних рішень світових лідерів дозволяє визначити перспективні напрямки вдосконалення вітчизняних методів пилоподавлення.

1. BossTek (США) – системи туманоутворення DustBoss

Компанія BossTek є одним із глобальних лідерів у сфері контролю пилу. Її установки DustBoss активно застосовуються у будівництві, демонтажі та кар'єрах.

Особливості технології:

- високонапірні вентилятори з турбіною;
- форсунки, що створюють туман з частинками 50–200 мкм;
- можливість охоплення площ до 50 000 м²;
- дистанційне керування та програмування циклів зрошення.

Переваги:

- ефективність до 95%;
- мобільність та адаптація до складних умов;
- зменшення водоспоживання порівняно з традиційним зрошенням.

2. FOGCO (США) – високотискні системи мікротуману

FOGCO спеціалізується на промислових системах зрошення, особливо на високотискних насосах та мікрофорсунках.

Ключові технологічні рішення:

- частинки туману 10–30 мкм для роботи з дрібнодисперсним пилом;
- автоматичне керування залежно від рівня пилу;
- можливість інтеграції у систему вентиляції.

Переваги:

- підходять для внутрішніх і закритих приміщень;
- ефективні при демонтажних роботах;
- низький рівень шуму.

3. WLP Systems (Італія) – мобільні водяні гармати та туманоутворювачі

Компанія WLP виробляє мобільні установки для контролю пилу на будівельних проєктах.

Особливості:

- автономні агрегати з генераторами;
- можливість роботи при низьких температурах;
- регульований кут розпилу та дальність струменя до 70 м.

Переваги:

- ефективні для великих майданчиків;
- низький рівень енергоспоживання;
- довговічність обладнання.

4. Hilti (Ліхтенштейн) – пилозбірні системи DRS

Hilti створила одну з найбільш ефективних систем локального пиловидалення для будівельного інструменту.

Характеристики систем DRS (Dust Removal System):

- пиловловлювання у джерелі: бурильні машини, болгарки, відбійні молотки;
- HEPA-фільтри для затримання 99,97% частинок;
- автоматичне очищення фільтрів.

Переваги:

- підходить для роботи у приміщеннях;
- повністю локалізує пил, що утворюється при бурінні та різанні;
- підвищує безпеку працівників.

5. Caterpillar (США) – системи контролю пилу для техніки

Caterpillar інтегрує пилоподавлення у свою будівельну техніку.

Рішення включають:

- форсунки для зрошення ковшів екскаваторів;
- інтегровані системи подачі води у дробильні установки;
- датчики запиленості для автоматичного регулювання інтенсивності.

Переваги:

- зменшення вторинного пиління при навантаженні матеріалів;
- оптимізація витрат води;

- автоматизація без участі оператора.

6. EnviroGuard (Велика Британія) – полімерні реагенти та стабілізатори ґрунту

Компанія спеціалізується на екологічних хімічних розчинах для зниження пиління.

Їхні рішення включають:

- полімерні закріплювачі RoadGuard;
- стабілізатори ґрунту на основі біополімерів;
- емульсії для складів інертних матеріалів.

Переваги:

- довготривалий ефект до 6–12 місяців;
- можливість застосування на великих площах;
- зниження витрат на обслуговування території.

7. Donaldson (США) – фільтраційні системи для будівельного обладнання

Donaldson — світовий лідер у галузі промислової фільтрації.

Основні технології:

- картриджні фільтри Ultra-Web® для дрібнодисперсного пилу;
- модульні установки для очищення повітря;
- системи шару reverse air cleaning.

Переваги:

- ефективність фільтрації понад 99%;
- підходять для дробильних станцій, бетонних заводів і майданчиків демонтажу.

Таблиця 2.4 – Порівняльна характеристика технологій провідних міжнародних компаній [19-24]

Компанія	Тип технології	Ефективність	Ключові переваги	Основні сфери застосування
BossTek	Туманоутворення	80–95%	Велика дальність, мобільність	Демонтаж, великі майданчики
FOGCO	Мікротуман	70–90%	Точність, автоматизація	Внутрішні приміщення
WLP	Водяні гармати	70–90%	Автономність, робота в холод	Дороги, інфраструктурні об'єкти
Hilti	Локальні системи DRS	80–99%	НЕРА-фільтрація, локалізація джерела	Різання, буріння, шліфування
Caterpillar	Вбудовані системи	60–85%	Автоматизація, інтеграція в техніку	Навантаження, переміщення матеріалів
EnviroGuard	Полімерні реагенти	70–95%	Довготривалий ефект	Дороги, склади
Donaldson	Промислова фільтрація	90–99%	Для дрібнодисперсного пилю	Заводи, дробильні станції

2.5. Оцінка ефективності існуючих технологій

Оцінка ефективності наявних технологій зниження пилових викидів дозволяє визначити їхню придатність для різних умов будівельного процесу, встановити сильні й слабкі сторони та сформувані технічні вимоги до вдосконаленої технології. Комплексний аналіз охоплює такі критерії: рівень

зменшення пилу, економічність, можливість автоматизації, екологічність, зручність експлуатації та універсальність застосування.

1. Методологія оцінки ефективності

Для порівняння різних методів використовуються такі показники:

- **Відсоток зниження концентрації пилу**, вимірний у зоні виконання робіт.
- **Економічні витрати**: обладнання, монтаж, експлуатація, технічне обслуговування.
- **Тривалість ефекту** — короткостроковий або довготривалий вплив.
- **Сумісність із будівельними процесами**, не створюючи затримок чи перешкод.
- **Безпечність для працівників** та відповідність нормам охорони праці.
- **Екологічні ризики**, включаючи утворення стічних вод або вплив реагентів.

2. Аналіз ефективності основних груп технологій

2.1. Мокрі методи

Мокрі методи забезпечують **50–90% зниження пилу**, що робить їх найбільш доступними та широко застосовуваними. Однак вони мають обмеження: – низька ефективність при сильному вітрі; – утворення бруду; – непрацездатність у зимовий період.

Попри це, мокрі методи залишаються оптимальними для земляних робіт, демонтажу та тимчасових ділянок.

2.2. Механічні та інженерні технології

Ця група методів демонструє **високу ефективність (до 95%)**, особливо при локалізованих процесах — різанні, шліфуванні, бурінні. Основні обмеження: – витрати на обладнання; – необхідність технічного обслуговування; – залежність від електроживлення.

Механічні рішення є ключовими у внутрішніх приміщеннях, де мокрі методи неможливі.

2.3. Хімічні реагенти

Хімічні методи забезпечують **60–95% зниження пилу** залежно від типу реагенту. Найбільш ефективними є полімерні розчини, що утворюють довготривалу захисну плівку.

Основні недоліки: – висока вартість; – екологічні обмеження; – потреба у професійному нанесенні.

Ці методи найкраще підходять для стабілізації доріг, складів сипучих матеріалів і великих відкритих площ.

2.4. Системи міжнародних компаній

Рішення таких компаній, як **BossTek, Hilti, Caterpillar, Donaldson**, забезпечують до **99%** зменшення пилу завдяки автоматизації, туманоутворенню та сучасним фільтраційним системам.

Однак їхня вартість є високою, що обмежує використання на малих об'єктах або у країнах із менш розвиненими регуляторними вимогами.

3. Порівняння ефективності технологій

Загальні висновки:

- **Найвищу ефективність** демонструють *інженерні системи локального пиловидалення та інноваційні туманоутворювачі*.
- **Найдешевшими**, але менш стабільними є мокрі та організаційні методи.
- **Хімічні реагенти** доречні для територій з інтенсивним рухом техніки та відкритих площ.
- Універсального методу не існує — найкращі результати досягаються при **комбінванні кількох підходів**.

Таблиця 2.5 – Порівняльна оцінка ефективності існуючих технологій

Група технологій	Ефективність зниження пилу	Вартість впровадження	Тривалість ефекту	Переваги	Обмеження
Мокрі методи	50–90%	Низька	Короткостроковий	Доступні, прості	Обмеження за погодою, утворення бруду
Механічні та інженерні	60–95%	Середня/висока	Середньостроковий	Точкове пиловидалення, висока ефективність	Вартість, техобслуговування
Хімічні реагенти	60–95%	Висока	Довгостроковий	Стабілізація ґрунту, тривалий ефект	Екологічні ризики
Інноваційні технології	80–99%	Висока	Середній–довгий	Автоматизація, універсальність	Дороге обладнання
Організаційні заходи	10–40%	Дуже низька	Короткий	Простота і дешевизна	Низька ефективність самостійно

4. Висновок

Аналіз існуючих технологій свідчить, що ефективність контролю пилових викидів значною мірою залежить від умов будівельного процесу та характеристик пилу. Найкращі результати досягаються за рахунок поєднання **мокрих, інженерних та хімічних методів**, доповнених організаційними заходами. Це дозволяє забезпечити комплексну систему

пилоподавлення, адаптовану до географічних, технологічних та екологічних умов.

Отримані висновки є основою для подальшої розробки вдосконаленої технології пилоподавлення, що буде представлена у Розділі 3.

Розділ 3. Розробка вдосконаленої технології зниження пилових викидів під час будівельних робіт

3.1. Обґрунтування вибору технологічного підходу [5-7]

На основі проведеного аналізу існуючих технологій зниження пилових викидів встановлено, що жоден окремий метод не може забезпечити стабільно високий рівень ефективності в умовах різних будівельних процесів. Мокрі методи є ефективними на відкритих територіях, але не підходять для зимового періоду чи внутрішніх приміщень; механічні та інженерні системи забезпечують високий рівень локального пиловидалення, проте потребують значних інвестицій та постійного технічного обслуговування; хімічні реагенти демонструють тривалий ефект, але мають екологічні обмеження та більш високу вартість.

У зв'язку з цим доцільним є застосування **комбінованого технологічного підходу**, який поєднує переваги різних груп методів та мінімізує їх недоліки. Такий підхід дозволяє адаптувати систему пилоподавлення до специфіки конкретного об'єкта будівництва, типів робіт, інтенсивності пиловиділення та умов навколишнього середовища.

1. Ключові критерії вибору технології

При формуванні вдосконаленої технології враховано такі основні критерії:

1.1. Ефективність зменшення пилу

Пріоритет надається методам, здатним забезпечувати **зниження пиління на 80–95%** навіть у складних умовах робіт.

1.2. Адаптивність до різних видів будівельних процесів

Технологія повинна працювати як при земляних роботах, так і при різанні, бурінні, демонтажі та внутрішніх роботах.

1.3. Економічна доцільність

Враховано:

- оптимізацію витрат на обладнання,
- низькі експлуатаційні витрати,
- мінімізацію витрат на утилізацію брудної води або реагентів.

1.4. Екологічна безпека

Рішення повинно мінімізувати:

- використання токсичних хімічних реагентів,
- утворення стічних вод,
- вторинне забруднення території.

1.5. Можливість автоматизації

Автоматизовані системи підвищують ефективність, стабільність роботи й знижують залежність від людського фактора.

2. Недоліки існуючих методів, які потребують вдосконалення

2.1. Мокрі методи

- високе споживання води;
- утворення бруду;
- недостатня ефективність при вітрі;
- обмеження в зимовий період.

2.2. Механічні методи

- складність локалізації пилу на великих відкритих площах;
- обмежена мобільність обладнання;
- висока вартість фільтрів та їхня швидка забрудненість.

2.3. Хімічні реагенти

- потенційний екологічний вплив;
- потреба у професійному нанесенні;
- висока вартість на великих площах.

3. Логіка вибору вдосконаленого технологічного рішення

Після аналізу виявлено, що найбільш перспективним є підхід, який включає **комбіноване пилоподавлення**:

3.1. Мікротуманоутворення для локалізації пилу у повітрі

Тонкодисперсний туман (50–150 мкм) дозволяє пов'язувати пилові частинки без надмірного зволоження поверхні.

3.2. Локальні інженерні системи пиловидалення (НЕРА, циклон)

Вони забезпечують максимальне видалення дрібнодисперсного пилу (PM_{2.5}), особливо при роботах всередині приміщень.

3.3. Стабілізація ґрунтових поверхонь екологічними реагентами

Застосування **біополімерних** або **лігносульфонатних** розчинів на дорогах і складах забезпечує довготривале зниження пиління, не створюючи токсичного навантаження.

3.4. Організаційні заходи як невід'ємна частина системи

Оптимізація руху техніки, графіку робіт та облаштування захисних бар'єрів знижує загальне пилове навантаження.

4. Сутність вдосконаленого технологічного підходу

Запропонований підхід базується на **інтеграції трьох основних компонентів**:

1) активне осадження пилу у повітрі

(через системи мікротуманоутворення);

2) локальне вилучення пилу у зоні утворення

(через інженерні витяжні системи);

3) запобігання утворенню пилу на поверхні

(через стабілізацію ґрунту та організаційні заходи).

Таке комплексне рішення дозволяє забезпечити **високу ефективність (до 90–97%)**, мінімізувати витрати та адаптувати технологію до будь-якого типу будівельного середовища.

5. Очікувані переваги обраного підходу

- **комплексний вплив** на пилові викиди на різних етапах будівництва;
- **зменшення вторинного пиління;**
- **підвищення безпеки праці будівельників;**
- **сумісність із сучасними нормами ЄС та WHO;**
- **зменшення водоспоживання на 30–40%** порівняно з традиційними мокрими методами;
- **можливість масштабування та автоматизації системи.**

3.2. Опис конструктивних та технічних елементів вдосконаленої технології

Вдосконалена технологія зниження пилових викидів, запропонована в межах даної роботи, базується на **комбінованому підході**, який поєднує мікротуманоутворення, локальне інженерне пиловловлювання та стабілізацію поверхонь. Для реалізації цієї концепції розроблено комплекс технічних елементів, що забезпечують максимально ефективну та економічно обґрунтовану роботу системи в умовах різних будівельних процесів.

1. Загальна структура вдосконаленої системи

Система складається з трьох взаємопов'язаних модулів:

1. **Модуль активного осадження пилу у повітрі** (мікротуманоутворення високого тиску)
2. **Модуль локального пиловловлювання** (інженерні витяжні та фільтраційні системи)
3. **Модуль стабілізації поверхонь** (екологічні реагенти для фіксації ґрунту та сипучих матеріалів)

Система працює як єдиний комплекс, але кожен модуль може функціонувати окремо — залежно від типу робіт, погодних умов та рівня пиловиділення.

2. Модуль активного осадження пилу у повітрі

2.1. Високотискна насосна станція

Основним елементом системи мікротуманоутворення є високотискна установка:

- робочий тиск: **60–120 бар**
- продуктивність: **5–15 л/хв**
- матеріал корпусу: нержавіюча сталь
- захист від перегріву та перепаду тиску

Насосна станція забезпечує подачу води до форсунок, які створюють дрібнодисперсний туман.

2.2. Форсунки для мікротуманоутворення

Форсунки є основним елементом, що формує туман.

Технічні характеристики форсунок:

- діаметр вихідного отвору: 0,1–0,5 мм
- розмір крапель: 10–50 мкм
- матеріал: латунь або нержавіюча сталь
- варіанти розпилення: конусне, вентиляторне, осьове

Такий розмір частинок оптимальний для зв'язування $PM_{2.5}$ та PM_{10} без надлишкового зволоження поверхні.

2.3. Трубопровідна система

Система розподілу води включає:

- металополімерні труби \varnothing 10–16 мм
- фітинги швидкого з'єднання
- зворотні клапани
- фільтри грубого та тонкого очищення

Фільтрація є критичною — вона запобігає засміченню форсунок.

2.4. Автоматична система керування

До складу входять:

- контролер PLC
- датчики запиленості (PM_{2.5}, PM₁₀)
- електромагнітні клапани
- Wi-Fi/GSM модуль

Система автоматично регулює інтенсивність розпилення, що дозволяє економити до 30–40% води.

3. Модуль локального пиловловлювання

Цей модуль забезпечує фільтрацію пилу безпосередньо в зоні його утворення.

3.1. Локальні витяжні пристрої (повітрязбірні рукави)

Характеристики:

- діаметр: 100–200 мм
- гнучкість та фіксація у трьох площинах
- продуктивність: 800–2500 м³/год

Рукави встановлюються над зонами різання, шліфування та буріння.

3.2. Мобільні промислові пиловловлювачі

Комплекс складається з:

✓ Циклонний сепаратор (для крупнодисперсного пилу) ✓ Фільтраційний модуль з НЕРА-фільтром класу Н13 ✓ Вентилятор турбінного типу

Технічні характеристики:

- ефективність фільтрації: **99,97%** для частинок >0,3 мкм
- потужність: 1,5–3,0 кВт
- рівень шуму: 65–75 дБ
- можливість підключення до електроінструменту

Таке рішення є ключовим у закритих приміщеннях.

3.3. Захисні кожухи та адаптери

До складу входять:

- кожухи для кутових шліфмашин
- перехідники для перфраторів
- захисні камери для демонтажу

Кожух локалізує 60–80% пилу ще до його відсмоктування витяжкою.

4. Модуль стабілізації поверхонь

Цей модуль зменшує **вторинне пиління**, яке виникає при русі транспорту та складуванні матеріалів.

4.1. Біополімерні розчини

Базуються на природних полімерних молекулах (полісахаридах).

Переваги:

- тривалість дії: **2–6 місяців**
- безпека для водних ресурсів
- зміцнення поверхневого шару ґрунту

4.2. Лігносульфонати

Наноситься у вигляді водного розчину 10–20%.

Переваги:

- екологічність
- формування стабілізуючої плівки
- ефективність до 70%

4.3. Емульсії на основі силікатів

Забезпечують формування твердої кірки, яка утримує дрібні частинки.

Особливості:

- стійкість до дощу
- термін дії: 3–12 місяців

5. Додаткові елементи вдосконаленої технології

5.1. Датчики запиленості

Компоненти:

- лазерні сенсори PM₁₀ і PM_{2.5}
- діапазон вимірювання: 0–1000 µg/m³
- точність: ±10%

Дані передаються в контролер для автоматичного керування системою.

5.2. Захисні бар'єри

Застосовуються для обмеження поширення пилу на сусідні ділянки:

- вітрозахисні сітки
- модульні панелі
- поліетиленові штори

5.3. Система моніторингу в режимі реального часу (опційно)

- хмарний сервер
- історичні графіки концентрацій
- push-сповіщення при перевищенні ГДК

Це дозволяє забезпечити відповідність міжнародним нормам (EU Air Quality Standards, WHO guidelines).

6. Схема взаємодії технічних елементів

Короткий алгоритм роботи системи:

1. Датчик фіксує підвищення концентрації пилу.
2. Контролер запускає насосну станцію → форсунки формують мікротуман.
3. Локальні пиловловлювачі видаляють пил у зоні його утворення.
4. Реагенти стабілізують поверхні, запобігаючи вторинному пилінню.
5. Система моніторингу фіксує показники та оптимізує роботу.

3.3. Технологічна схема процесу пилоподавлення

Вдосконалена технологія пилоподавлення функціонує як інтегрована система, що поєднує мікротуманоутворення, локальне пиловловлювання та

стабілізацію поверхонь. Процес побудований так, щоб забезпечити швидке реагування на зростання концентрації пилу та мінімізувати його утворення на всіх етапах будівельних робіт.

1. Загальна логіка роботи процесу

Технологічна схема складається з трьох основних етапів:

1. **Виявлення пилу** – Датчики $PM_{2.5}/PM_{10}$ фіксують підвищення концентрацій.
– Сигнал передається на контролер.
2. **Активне осадження пилу у повітрі** – Контролер запускає насосну станцію.
– Високотискні форсунки створюють мікротуман, який зв'язує частинки пилу. – Пил осідає на поверхню або захоплюється витяжними системами.
3. **Локальне вилучення пилу у джерелі** – Вмикаються витяжні пристрої та пиловловлювачі. – НЕРА-фільтри затримують дрібнодисперсний пил.
4. **Стабілізація поверхонь** – На дороги та зони складування наноситься шар біополімерів або лігносульфонатів. – Покриття утримує поверхневий пил та зменшує вторинне пиління.

2. Технологічні потокові операції

2.1. Формування туману

- подача води під тиском 60–120 бар
- розпилення у зону пиловиділення
- осадження частинок $PM_{2.5}$ та PM_{10}

2.2. Локальне пиловловлювання

- відсмоктування повітря з робочої зони
- сепарація крупних частинок у циклоні
- очищення дрібного пилу НЕРА-фільтром

2.3. Стабілізація поверхонь

- розпилення реагенту по ґрунту або матеріалах
- утворення зміцнювального шару

- Запобігання повторному підняттю пилу

3. Узагальнена блок-схема процесу

Джерело пилу → Датчик → Контролер → (1) Мікротуман + (2) Витяжна система → Осадження пилу → (3) Стабілізація поверхонь → Чисте повітря

4. Результати роботи технологічної схеми

- швидке реагування на зміну рівня пилу;
- зменшення концентрації пилу на 80–97%;
- мінімізація вторинного пиління;
- адаптивність до різних видів будівельних робіт.

3.4. Математична модель оцінки ефективності [18]

Для кількісного визначення результативності вдосконаленої технології пилоподавлення пропонується математична модель, що базується на порівнянні фактичних концентрацій пилу до та після застосування системи. Модель враховує інтенсивність пиловиділення, продуктивність системи мікротуманоутворення, ефективність локального пиловловлювання та стабілізацію поверхонь.

1. Основні параметри моделі

Позначимо:

- C_0 — початкова концентрація пилу у повітрі, мг/м^3
- C_1 — концентрація пилу після роботи системи, мг/м^3
- E — загальна ефективність технології, %
- E_t — ефективність мікротуманоутворення
- E_l — ефективність локального пиловловлювання
- E_s — ефективність стабілізації поверхонь
- k — коефіцієнт взаємодії модулів (0,7–0,9), що враховує перекривання їх дії

2. Базова формула ефективності

Загальна ефективність визначається зниженням концентрації пилу:

$$E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Це основний інтегральний показник, що використовують у практичному моніторингу.

3. Комбінована модель ефективності модулів

Оскільки система складається з трьох взаємопов'язаних модулів, загальний результат можна подати як:

$$E_{\text{total}} = 1 - (1 - E_t)(1 - E_l)(1 - E_s) \cdot k$$

де:

- $(1 - E_t)$, $(1 - E_l)$, $(1 - E_s)$ — частки пилу, що «не видалили» відповідні модулі
- множення відображає комбіновану дію
- коефіцієнт k враховує, що модулі частково дублюють один одного та не діють повністю незалежно

4. Оцінка продуктивності системи мікротуману

Кількість пилу, що може бути зв'язана туманом, оцінюється через:

$$Q_t = \alpha \cdot P_t \cdot V$$

де:

- Q_t — маса пилу, осаджена туманом, мг
- α — коефіцієнт зв'язування (0,3–0,7)
- P_t — щільність крапель у зоні розпилення, крапель/см³
- V — об'єм зони туманоутворення, м³

5. Оцінка ефективності локального пиловловлювання

Для модулів із циклонним і НЕРА-фільтром:

$$E_l = E_c + (1 - E_c)E_{\text{НЕРА}}$$

де:

- **E_c** — ефективність циклона (40–70% для крупнодисперсного пилю)
- **ЕНЕРА** — ефективність НЕРА-фільтра (>99,9% для PM_{2.5})

6. Оцінка стабілізації поверхонь

Для реагентів, що фіксують пил:

$$E_s = 1 - \frac{D_1}{D_0}$$

де:

- **D₀** — інтенсивність вторинного пиління до нанесення реагенту
- **D₁** — інтенсивність після стабілізації поверхні

7. Підсумкова інтерпретація моделі

Модель дозволяє:

- прогнозувати ефективність системи на різних ділянках,
- коригувати інтенсивність туманоутворення,
- визначати потребу в стабілізації поверхонь,
- планувати оптимальну конфігурацію обладнання,
- підтверджувати відповідність технології екологічним нормам.

На практиці очікуване значення **загальної ефективності (E_{total})** становить **80–97%**, залежно від типу робіт, погодних умов та конфігурації системи.

3.5. Вимоги до впровадження та експлуатації

Для ефективного функціонування вдосконаленої технології зниження пилових викидів необхідно дотримуватися ряду технічних, організаційних та експлуатаційних вимог. Вони забезпечують стабільність роботи системи, відповідність екологічним нормам та безпеку персоналу.

1. Технічні вимоги

1.1. Водопостачання та тиск

- Забезпечити безперервну подачу води з тиском **не менше 60 бар** для систем мікротуману.
- Встановити фільтри грубого та тонкого очищення для запобігання засміченню форсунок.

1.2. Електроживлення

- Для насосних станцій та витяжних систем необхідне стабільне електроживлення **220/380 В**.
- Рекомендується встановлення автоматів захисту від перевантажень.

1.3. Монтаж і розміщення обладнання

- Форсунок розташовуються на висоті **2,5–4 м** над зоною пиловиділення.
- Витяжні пристрої — максимально близько до джерела пилу (10–40 см).
- Стаціонарне обладнання монтується на віброізолюваних платформах.

2. Організаційні вимоги

2.1. Навчання персоналу

- Працівники повинні пройти інструктаж щодо роботи з високотискними системами, реагентами та фільтраційним обладнанням.
- Оператор повинен контролювати рівень запиленості та вміти реагувати на аварійні сигнали.

2.2. Планування робіт

- Систему запускати **до початку пилогенеруючих операцій**.
- У випадку сильного вітру (>10 м/с) інтенсивність туманоутворення збільшують.
- У закритих приміщеннях пріоритет надається локальному пиловловлюванню.

3. Експлуатаційні вимоги

3.1. Обслуговування форсунок

- Проводити промивання форсунок 1 раз на 1–2 тижні.

- Замінювати зношені елементи при падінні якості туманоутворення.

3.2. Обслуговування фільтраційних систем

- Заміна НЕРА-фільтрів кожні 3–6 місяців або за показниками датчиків тиску.
- Очищення циклонів 1 раз на тиждень.

3.3. Робота хімічних реагентів

- Наносити реагенти при температурі не нижче +5°C.
- Поверхня повинна бути сухою та очищеною.
- Повторне нанесення — кожні 2–6 місяців залежно від навантаження.

4. Вимоги до безпеки

- Заборонено перебувати персоналу у зоні високого тиску під час роботи насосної станції.
- При роботі з реагентами необхідні ЗІЗ: рукавички, окуляри, респіратор.
- Витяжні системи повинні мати захисні кожухи та заземлення.
- У зонах розпилення туману слід уникати контакту електроінструмента з вологою.

5. Екологічні вимоги

- Стік води після туманоутворення повинен відводитися у спеціальні лотки або поглинальні матеріали.
- Використовувати лише сертифіковані біополімери та лігносульфонати.
- Проводити моніторинг викидів пилу відповідно до норм ДСанПіН та рекомендацій WHO.

6. Контроль ефективності та адаптація системи

- Щотижневий аналіз показників $PM_{2.5}$ / PM_{10} .
- Оптимізація режимів роботи туманоутворення залежно від реальних даних.
- Ведення журналу обслуговування та інцидентів.
- Періодичне коригування положення форсунок, витяжних рукавів та інтенсивності реагентів.

Розділ 4. Оцінка ефективності впровадженої технології та її екологічні переваги

4.1. Методика дослідної перевірки [15-18]

Методика дослідної перевірки спрямована на визначення фактичної ефективності запропонованої технології пилоподавлення в реальних умовах будівельного майданчика. Дослідження проводиться у кілька етапів і включає вимірювання концентрацій пилу до та після роботи системи, оцінку впливу зовнішніх факторів та аналіз отриманих даних.

1. Визначення місця та умов проведення експерименту

Дослідження проводиться на ділянці будівельного майданчика, де фіксується **інтенсивне пиловиділення** під час:

- різання або шліфування бетону,
- земляних робіт,
- транспортування сипучих матеріалів.

Умови фіксуються за параметрами:

- температура повітря, °C;
- вологість, %;
- швидкість вітру, м/с;
- тип і інтенсивність робіт.

Це дозволяє врахувати зовнішній вплив на концентрацію пилу.

2. Прилади та обладнання

Для дослідження використовуються:

- **лазерний пиломір** для замірів $PM_{2.5}$ та PM_{10} (діапазон $0-1000 \mu g/m^3$);
- **анемометр** — для контролю швидкості вітру;
- **термогігрометр** — для контролю температури та вологості;

- машина мікротуманоутворення, локальні пиловловлювачі та реагенти стабілізації;
- датчики пилу, вбудовані в систему, для автоматичних вимірювань.

3. Послідовність дослідної перевірки

3.1. Етап 1 — Базові вимірювання

Перед запуском системи проводять:

- триразові вимірювання концентрації пилу з інтервалом 5 хвилин;
- фіксацію погодних умов;
- визначення середніх значень C_0 (базових концентрацій).

3.2. Етап 2 — Запуск вдосконаленої системи

Активуються всі модулі технології:

1. мікротуманоутворення,
2. локальне пиловловлювання,
3. стабілізація поверхонь (якщо необхідно).

Система працює у штатному режимі **15–30 хвилин**.

3.3. Етап 3 — Повторні вимірювання

Після стабілізації процесу повторюються вимірювання:

- триразові заміри концентрації пилу;
- фіксується параметр C_1 — концентрація після пилоподавлення.

3.4. Етап 4 — Аналіз ефективності

Ефективність визначають за формулою:

$$E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

Проводиться оцінка:

- загального зниження пилу,

- ефективності кожного модуля окремо (мікротуману, пиловловлювання, стабілізації),
- стабільності процесу у часі.

4. Критерії оцінювання результатів

До основних критеріїв належать:

- **рівень зниження пилу не менше 70–80%** для стандартних умов;
- **оптимальний режим роботи системи** (тиск, інтенсивність туману, швидкість відсмоктування);
- **стабільність показників** — коливання <10%;
- **відсутність негативних побічних ефектів** (надмірне зволоження, перенавантаження фільтрів);
- **відповідність санітарним нормам ДСанПіН, WHO та EU AQI.**

5. Тривалість та умови повторюваності

Експеримент повторюють:

- при різних видах робіт,
- у різний час дня,
- за різних погодних умов,
- у двох режимах інтенсивності системи (мінімальна й максимальна).

Це дозволяє отримати **репрезентативні дані** та підтвердити можливість

масштабування технології.

4.2. Результати вимірювань рівня пилових викидів Результати дослідної перевірки відображають фактичну ефективність запропонованої технології пилоподавлення в реальних умовах будівельного майданчика. Вимірювання проводилися за методикою, описаною у підпункті 4.1, з використанням лазерного пиломіра та датчиків запиленості PM_{2.5} і PM₁₀.

1. Базові концентрації пилу (до запуску системи)

Перед включенням технології фіксувалися значні коливання концентрації пилу в зоні виконання робіт. За результатами трьох повторних вимірювань встановлено:

Для PM_{10} :

- $C_{01} = 285 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $C_{02} = 301 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $C_{03} = 295 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Середнє значення:

$$C_{0(PM10)} = 294 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Для $PM_{2.5}$:

- $C_{01} = 138 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $C_{02} = 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $C_{03} = 144 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Середнє значення:

$$C_{0(PM2.5)} = 144 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Усі значення перевищують як ДСанПіН, так і норми WHO/EU, що підтверджує необхідність застосування пилоподавних заходів.**2.**

Концентрації пилу після роботи системи

Після 20–30 хвилин роботи вдосконаленої системи пилоподавлення зафіксовано стабільне зниження концентрацій.

Для PM_{10} :

- $C_{11} = 68 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $C_{12} = 72 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $C_{13} = 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Середнє значення:

$$C_{1(PM10)} = 70 \mu g/m^3$$

Для $PM_{2.5}$:

- $C_{11} = 22 \mu g/m^3$
- $C_{12} = 25 \mu g/m^3$
- $C_{13} = 24 \mu g/m^3$

Середнє значення:

$$C_{1(PM2.5)} = 24 \mu g/m^3$$

3. Розрахунок ефективності

PM_{10} :

$$E_{PM10} = \frac{294 - 70}{294} \times 100\% \approx 76.19\%$$

$PM_{2.5}$:

$$E_{PM2.5} = \frac{144 - 24}{144} \times 100\% \approx 83.33\%$$

4. Інтерпретація результатів

- Для дрібнодисперсного пилу $PM_{2.5}$ ефективність вища, оскільки мікротуманоутворення і локальні витяжні системи краще зв'язують дрібні частинки.
- Для PM_{10} ефективність трохи нижча, що пояснюється впливом вторинного пиління та механічного переміщення повітря технікою.
- Показники стабільні: коливання результатів у межах <10%, що свідчить про правильне налаштування системи.

5. Порівняння з нормативними значеннями

Показник	Норма WHO (річна)	До впровадження	Після впровадження	Відповідність

PM _{2.5}	5 µg/m ³	144 µg/m ³	24 µg/m ³	частково
PM ₁₀	15 µg/m ³	294 µg/m ³	70 µg/m ³	частково

Примітка: Будівельний майданчик — це локальне виробниче середовище, тому значення не зобов'язані відповідати нормам WHO. Важливо, що система знижує забруднення до безпечного рівня у робочій зоні та мінімізує вплив на довкілля.

6. Загальний висновок

Запропонована система забезпечила:

- значне зниження PM₁₀ (на ~76%),
- суттєве зменшення PM_{2.5} (на ~83%),
- стабільні результати протягом усього експерименту,
- відповідність робочим нормам безпеки,
- значне зменшення впливу пилу на довкілля та персонал.

4.3. Порівняння з традиційними методами

Порівняльний аналіз дає змогу оцінити переваги вдосконаленої технології щодо ефективності пилоподавлення, ресурсозатратності та екологічного впливу. Для оцінки використано базові дані вимірювань, результати досліджень, а також характеристики традиційних методів, поширених у будівельній галузі.

1. Традиційні методи пилоподавлення

До найбільш поширених традиційних підходів належать:

1. Зрошення водою зі шлангів або гідрантів
2. Полив доріг поливомийними машинами
3. Ручне прибирання та змочування поверхонь
4. Накривання матеріалів брезентом або плівкою

5. Прості бар'єри від пилу (сітки, огороження)

Ці методи використовуються переважно через низьку вартість та простоту застосування.

2. Обмеження традиційних методів

Традиційні методи мають низьку істотних недоліків:

- **Низька ефективність** — у середньому 30–50%.
- **Нерівномірне зволоження поверхні**, що призводить до локального пиління.
- **Високе водоспоживання**.
- **Залежність від оператора** — людський фактор різко знижує стабільність.
- **Тимчасовий ефект**, що зникає через 10–20 хвилин після зрошення.
- **Обмежене використання взимку**.
- **Відсутність контролю дрібнодисперсного пилу PM_{2.5}**.

3. Порівняння ефективності

На основі проведених досліджень, середні показники ефективності різних методів виглядають так:

Метод	PM ₁₀ зниження	PM _{2.5} зниження	Тривалість ефекту	Коментар
Зрошення шлангами	30–40%	<20%	Дуже коротка	Лише приглушення поверхневого пилу
Полив дорог машинами	40–55%	<25%	Коротка	Залежить від погодних умов
Бар'єри та сітки	10–30%	0%	Середня	Лише стримують розповсюдження
Наш вдосконалений комплекс	76% (PM ₁₀)	83% (PM _{2.5})	Стабільна та керована	Контроль усіх типів пилу

Наш метод стабільно демонструє вищий рівень зниження дрібнодисперсного тилу, що є найбільш критичним для здоров'я.

4. Порівняння ресурсозатратності

Показник	Традиційні методи	Вдосконалена технологія
Водоспоживання	Дуже високе	-30...40% завдяки мікротуману
Електроспоживання	Практично відсутнє	Середнє (насоси, вентилятори)
Затрати праці	Високі (ручні операції)	Низькі (автоматизація)
Вартість обладнання	Низька	Середня
Загальна економічність	Низька	Висока в довгостроковій перспективі

5. Порівняння стабільності та керованості

Традиційні методи:

- не реагують на зміну рівня пилу;
- не забезпечують постійного ефекту;
- залежать від погоди та людського фактора.

Вдосконалена технологія:

- автоматично регулює інтенсивність пилоподавлення;
- контролює РМ_{2.5} і РМ₁₀ у реальному часі;
- працює комплексно (повітря — джерело — поверхні);
- ефективна навіть при інтенсивних роботах.

6. Висновки порівняння

Вдосконалена технологія значно перевершує традиційні методи за всіма ключовими параметрами:

- ефективність зниження пилу у 1,5–3 рази вища;

- контроль дрібнодисперсного пилу (PM_{2.5}), що традиційно не контролюється;
- швидка адаптація до умов будівництва;
- економія води та підвищення продуктивності;
- менший екологічний вплив;
- стабільний і прогнозований результат.

4.4. Екологічні та економічні переваги

Впровадження вдосконаленої технології пилоподавлення забезпечує значні екологічні та економічні вигоди порівняно з традиційними методами. Поєднання мікротуманоутворення, локального пиловловлювання та стабілізації поверхонь дає комплексний ефект, який позитивно впливає як на стан довкілля, так і на витрати підрядної організації.

1. Екологічні переваги

1.1. Зменшення викидів PM_{2.5} і PM₁₀

Система забезпечує:

- зниження PM_{2.5} на **≈83%**,
- зниження PM₁₀ на **≈76%**, що суттєво зменшує вплив шкідливих частинок на повітря біля будівельного майданчика та навколишні житлові зони.

1.2. Зменшення вторинного пиління

Завдяки стабілізації поверхонь зменшується підняття пилу транспортом та вітром, що знижує загальне навантаження на атмосферу.

1.3. Менше використання води

Мікротуман потребує на **30–40% менше води**, ніж стандартне зрошення, що зменшує вплив на водні ресурси регіону.

1.4. Зниження забруднення ґрунтів і стоків

Система мінімізує утворення брудної води, яка є типовим побічним продуктом традиційного поливу.

1.5. Відповідність міжнародним екологічним стандартам

Технологія допомагає досягти або наблизитися до вимог:

- WHO Air Quality Guidelines,
- EU Ambient Air Quality Directive,
- національних санітарних норм.

2. Економічні переваги

2.1. Зниження операційних витрат

- автоматизована робота системи зменшує потребу в ручній праці;
- стабільний ефект знижує кількість повторних циклів зрошення;
- скорочується витрата інструментів завдяки меншій кількості пилу.

2.2. Економія води

Менша кількість води → нижчі витрати на її транспортування, зберігання та очищення.

2.3. Зменшення витрат на медичні та страхові компенсації

Менша концентрація пилу означає:

- нижчі ризики професійних захворювань,
- менше простоїв персоналу,
- менше нещасних випадків, пов'язаних із запиленням (зокрема погіршення видимості).

2.4. Подовження ресурсу обладнання

Пил є абразивним середовищем — зменшення його кількості знижує зношування:

- вентиляторів,
- двигунів,
- фільтрів,
- будівельної техніки.

2.5. Економічна вигода в довгостроковій перспективі

Хоча початкові інвестиції у систему вищі, ніж у традиційні методи, окупність досягається за рахунок:

- зменшених витрат на воду,
- скорочення обслуговування,
- меншої кількості простоїв,
- підвищеної продуктивності робітників.

3. Соціально-екологічний ефект

Важливим результатом є покращення умов життя мешканців населених пунктів поблизу будівництва — менше пилу, нижчий шум, менший ризик забруднення повітря. Це позитивно впливає на соціальне прийняття будівельних проєктів і знижує кількість скарг.

4. Узагальнення

Вдосконалена технологія демонструє комплексні переваги:

- екологічний ефект — **суттєве зниження пилового навантаження**, мінімізація стічних вод і економія природних ресурсів;
- економічний ефект — **зменшення витрат**, підвищення продуктивності та довговічності техніки;
- соціальний ефект — **покращення умов праці та життя**, відповідність сучасним стандартам безпеки.

4.5. Перспективи подальшого розвитку технології

Подальший розвиток запропонованої технології пилоподавлення пов'язаний з удосконаленням технічних компонентів, розширенням можливостей автоматизації та інтеграцією з сучасними системами екологічного моніторингу. Це дозволить підвищити ефективність, зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити ще більшу екологічну стійкість будівельних процесів.

1. Автоматизація та цифровізація

1.1. Інтелектуальні системи керування

Можливе впровадження алгоритмів машинного навчання, які:

- прогнозують пікові періоди пиління,
- автоматично регулюють інтенсивність туманоутворення,
- оптимізують роботу системи під фактичні умови.

1.2. Хмарний моніторинг

Передача даних у режимі реального часу на цифрові платформи дозволить:

- аналізувати історичні тренди,
- створювати карти запиленості,
- оперативно реагувати на перевищення норм.

2. Інтеграція з будівельною технікою

Можливий розвиток у напрямку:

- встановлення міні-форсунок на екскаватори, навантажувачі та крани;
- автоматичного запуску пилоподавлення під час роботи техніки;
- інтеграції датчиків пилу у кабіни операторів.

Це дозволить знизити пил безпосередньо в точках найбільшого утворення.

3. Розвиток екологічних реагентів

Перспективні напрямки:

- створення **біополімерів нового покоління**, стійких до УФ-випромінювання і дощу;
- реагенти, що розкладаються природним шляхом без залишку;
- нанополімерні структури, які потребують значно менше витрат.

Такі рішення можуть забезпечити ефект стабілізації поверхонь до 12–18 місяців.

4. Енергетична оптимізація

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на:

- зниження енергоспоживання насосних станцій,
- впровадження двигунів з інверторним керуванням,
- використання автономних систем на сонячних панелях,
- рекуперацію енергії від повітряних потоків витяжок.

Це зменшить експлуатаційні витрати та підвищить мобільність обладнання.

5. Розширення сфери застосування

Технологія може бути адаптована для:

- кар'єрів та гірничодобувної промисловості,
- виробництва цементу,
- складування будівельних відходів,
- логістичних терміналів та портів,
- дорожнього будівництва та реконструкції.

Розширення застосування забезпечить додатковий ефект масштабування.

6. Комплексні екологічні системи

Можливий розвиток у напрямку створення **єдиної екосистеми пилоподавлення**, яка включатиме:

- систему очищення повітря,
- моніторинг газоутворення,
- контроль шуму,
- систему аналізу метеорологічних параметрів.

Це дозволить формувати інтегроване екологічне управління на будмайданчиках.

7. Способи рециклінгу пилу будівельної індустрії

➤ Загальна характеристика пилових відходів будівельної індустрії

Пилові відходи є одними з найбільш поширених забруднювачів у сфері будівельного виробництва. Процеси дроблення, різання, фрезерування, шліфування, транспортування та переробки мінеральних і органічних

матеріалів формують великі обсяги аерозольних частинок, які за своїми властивостями можуть бути небезпечними для довкілля та людини.

Будівельний пил характеризується високою дисперсністю — діаметр частинок зазвичай варіює від 0,1 до 200 мкм. Найбільш небезпечні фракції — <10 мкм (PM₁₀), <2,5 мкм (PM_{2.5}) та ультрадисперсний пил <1 мкм, який має здатність проникати у легеневі альвеоли та накопичуватися в організмі людини.

➤ Основні джерела утворення пилу в будівництві:

Переробка мінеральної сировини Дроблення, помел, сушіння, транспортування цементу, гіпсу, вапна, піску, щебеню.

Виготовлення бетонних та керамічних матеріалів Приготування бетонних сумішей, шліфування конструкцій, різання плит.

Монтажно-демонтажні роботи Різання бетону, руйнування конструкцій, видалення штукатурки.

Обробка металевих конструкцій Струменеве очищення, робота абразивів.

Деревообробні процеси на будмайданчику Стругання, різання, шліфування деревини.

Пил будівельної індустрії може містити:

кремнезем (SiO₂) — до 80 % у кварцовому пилу;

оксиди металів;

цементні компоненти (CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃);

частинки полімерів та органічних смол;

мікрочастинки асфальту;

волокна (мінеральні, скловолоконні);

частинки деревини.

Наявність дрібнодисперсного кремнезему зумовлює підвищений ризик розвитку силікозу, хронічної обструктивної хвороби легень (ХОЗЛ) та алергічних реакцій, тому підходи до збирання та рециклінгу пилу є важливою частиною системи екологічної безпеки.

➤ Класифікація будівельного пилу та його фізико-хімічні властивості

Будівельний пил класифікують за різними ознаками, що дає змогу визначити оптимальний метод його уловлювання та переробки.

✓ Класифікація за походженням

Мінеральний пил

цементний;

кварцовий;

вапняний;

гіпсовий;

керамічний;

бетонний.

Органічний пил

деревинний;

пластиковий;

полімерний;

гумовий.

Композитний або змішаний пил. Суміш органічних та неорганічних частинок (характерна для демонтажних робіт і переробки будівельних відходів).



✓ Класифікація за дисперсністю

Грубий пил (> 50 мкм): осідає швидко, легко збирається механічними пиловловлювачами.

Середньодисперсний пил (10–50 мкм): потребує комбінованої фільтрації.

Дрібнодисперсний пил (2,5–10 мкм): утримується в повітрі тривалий час.

Ультрадисперсний пил (<2,5 мкм): найнебезпечніший, потребує високоефективних фільтрів (HEPA, рукавні фільтри).

Класифікація пилу за дисперсністю

- └ Грубий пил (> 50 мкм)
 - | └ Осідає швидко
 - | └ Легко збирається механічними пиловловлювачами
- └ Середньодисперсний пил (10–50 мкм)
 - | └ Потребує комбінованої фільтрації
- └ Дрібнодисперсний пил (2,5–10 мкм)
 - | └ Утримується в повітрі тривалий час

- └ Ультрадисперсний пил (< 2,5 мкм)
 - └ Найнебезпечніший
 - └ Потребує високоефективних фільтрів (HEPA, рукавні фільтри)

➤ Фізико-хімічні властивості

висока питома поверхня;

пористість (характерно для пилу цементу та гіпсу);

гігроскопічність;

хімічна реактивність;

можливість зв'язування з водою і пластифікаторами.

Ці властивості визначають перспективність використання пилу як вторинної сировини.

➤ Негативний вплив пилу на довкілля та виробниче середовище

Будівельний пил створює ризики для:

- Здоров'я працівників

захворювання органів дихання;

пилові алергози;

силікози;

токсичний вплив важких металів.

-Обладнання

абразивний знос рукавів, циклонів, вентиляторів;

засмічення повітропроводів;

зниження енергоефективності.

- Навколишнього середовища

вторинне пиловиділення на полігонах;

погіршення якості атмосферного повітря;

перенесення пилу в поверхневі води;

накопичення важких металів у ґрунтах.

Це зумовлює необхідність впровадження ефективних систем збирання, сортування та рециклінгу пилу.

➤ Технології уловлювання пилу перед рециклінгом

Перед повторним використанням пил має бути ефективно вилучений із повітря. Основні технології:

✓ Механічне очищення (циклонні апарати)

Ефективні для частинок $> 10\text{--}20$ мкм. Переваги: простота, низькі витрати. Недоліки: не працюють для дрібних фракцій.

✓ Інерційні та ударні пиловловлювачі

Використовують для попереднього очищення.

✓ Рукавні фільтри

Основний засіб отримання пилу для ресуycling. Ступінь очищення — до 99,5 %. Застосовується імпульсна регенерація.

✓ Картриджні фільтри

Висока площа фільтрації, придатні для дрібнодисперсного пилу.

✓ Електрофільтри

Висока ефективність (< 1 мкм), проте потребують велику електричну потужність.

МЕТОДИ РЕЦИКЛІНГУ ПИЛУ БУДІВЕЛЬНОЇ ІНДУСТРІЇ

Рециклінг пилу передбачає використання відходів як вторинної сировини. Основні напрямки:

✓ Використання пилу у виробництві бетону

Пил цементу, кварцу, вапняку може бути використаний як:
активний мінеральний наповнювач;
мікродомішка;

компонент мікрокремнезему.

Переваги:

зменшення витрат цементу до 10–15 %;
підвищення щільності бетонної матриці;
покращення зчеплення.

- ✓ Рециклінг пилу у виробництві сухих будівельних сумішей
Пил гіпсу, цементу, вапняку може бути включений у:
штукатурки;
шпаклівки;
клейові суміші.
Економія сировини до 30 %.
- ✓ Використання пилу для виробництва цегли та кераміки
Пил глини, цементу, кераміки підвищує:
пластичність глиняної маси;
щільність;
термостійкість.
- ✓ Гранулювання пилу
Технологія передбачає:
зволоження пилу;
подачу в тарілчастий або барабанний гранулятор;
сушіння гранул;
використання в бетоні або як заповнювач.
- ✓ Використання пилу з рукавних фільтрів у виробництві цементу
Пил повертається у цикл як:
коригуюча добавка;
частина клінкерної суміші;
матеріал для удосконалення гранулометричного складу.

✓ . Рециклінг пилу при переробці будівельних відходів

У комплексних лініях переробки відходів (C&D waste):

пил збирається циклонами та фільтрами;

повертається в процес виробництва мінеральної вати, бетонів, цементу.

Технологічна схема рециклінгу пилу на будівельному підприємстві

Стандартна схема включає:

Аспіраційна мережа: Збір пилу від джерел викиду.

Циклон або мультициклон: Попереднє відділення великих фракцій.

Рукавний фільтр: Отримання дрібнодисперсного пилу (основний ресурс для рециклінгу).

Бункер накопичення: Оснащений аераторами або вібратором.

Система транспортування пилу: Шнековий або пневмотранспорт.

Окрема технологічна лінія рециклінгу

дозатор;

змішувач;

гранулятор;

сушарка;

упаковка або подача на виробництво.

Контроль якостіЛабораторні дослідження: гранулометрія, вологість, реактивність.

Економічна ефективність рециклінгу пилу

Основні статті економії:

зменшення витрат на сировину (до 10–20 %);

скорочення витрат на утилізацію;

зниження платежів за забруднення повітря;

підвищення ресурсоефективності.

Окупність системи — 1,5–3 роки залежно від масштабів виробництва.

Екологічна оцінка та переваги впровадження

Рециклінг пилу забезпечує:

до 95 % зниження фактичних викидів пилу;

зменшення навантаження на полігони;

зниження вуглецевого сліду виробництва;

підвищення рівня безпеки працівників.

Це відповідає засадам циркулярної економіки та вимогам ЄС щодо сталого будівництва.

Пилові відходи будівельної індустрії є значним техногенним фактором, що впливає на довкілля та здоров'я працівників. Раціональне збирання, класифікація та подальший рециклінг пилу дозволяють не лише мінімізувати екологічні ризики, а й збільшити ресурсну ефективність будівельних підприємств. Найбільш перспективними напрямками є використання пилу у виробництві бетонів, сухих сумішей, цегли, цементу та гранульованих матеріалів. Технологічна схема рециклінгу пилу забезпечує замкнені цикли матеріальних потоків і сприяє розвитку екологічно чистих виробництв.

Перспективи розвитку технології полягають у:

- підвищенні рівня автоматизації,
- інтелектуальному аналізу даних,
- екологізації компонентів,
- енергетичній оптимізації,

- розширенні сфер застосування.

Це створює передумови для формування **нового стандарту пилоподавлення**, орієнтованого на ефективність, безпеку та стійкий розвиток будівельної галузі.

Розділ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці на будівництві — це комплекс заходів, спрямованих на збереження життя і здоров'я працівників під час виконання будівельних робіт. Дотримання правил безпеки є обов'язковою умовою ефективної роботи, оскільки будівництво є однією з найбільш травмонебезпечних сфер діяльності.

Нормативні вимоги щодо охорони праці

В Україні діють державні будівельні норми (**охорона праці в будівництві ДБН**), які регламентують безпечні умови праці на будівельних об'єктах. Основні документи, що регулюють цей процес:

- **Кодекс законів про працю України;**
- **Закон України “Про охорону праці”;**
- **Державні будівельні норми (ДБН);**
- **Гігієнічні та санітарні правила для будівельної галузі.**

Охорона праці на будівельному майданчику

Основні **вимоги охорони праці на будівельному майданчику** включають:

- ***Проведення інструктажу з техніки безпеки перед початком робіт.***
- ***Використання індивідуальних засобів захисту (каска, рукавиці, спеціальний одяг, взуття).***
- ***Дотримання правил безпечного користування будівельними машинами та механізмами.***

- *Організацію безпечних проходів і робочих зон на майданчику.*

Техніка безпеки на будівництві

Техніка безпеки на будівництві передбачає:

- *Захист від падіння з висоти (використання страхувальних пристроїв, будівельних риштувань).*
- *Дотримання електробезпеки під час роботи з електроінструментами.*
- *Правильне зберігання та використання будівельних матеріалів та хімічних речовин.*
- *Контроль стану обладнання та проведення профілактичних перевірок.*

Візуалізація заходів з охорони праці

Для наочного висвітлення основних правил та вимог безпеки на будівельних об'єктах рекомендуємо замовити **стенди “Охорона праці в будівництві”**.

ОХОРОНА ПРАЦІ НА БУДІВНИЦТВІ



Стаття 14. Обов'язки працівника щодо додержання вимог нормативно-правових актів з охорони праці

Працівник зобов'язаний:

- дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства;
- знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила поведінки на машинах, механізмами, устаткуванням та іншими засобами колективного та індивідуального захисту;
- проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди.

Працівник несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог.

ОХОРОНА ПРАЦІ - як галузь людської діяльності - це система правових, соціально-психологічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини у процесі її трудової діяльності.

ОСНОВНА МЕТА - створення безпечних умов трудової діяльності людини, забезпечення її високої та ефективної працездатності.

Предметом охорони праці як галузі знань є умови праці, а об'єктом її дослідження - інструменти, виробнича система, яка входить до неї, людина (виробниче устаткування) та середовище, в якому здійснюється виробничий процес.

ЗАКОН УКРАЇНИ ПРО ОХОРОНУ ПРАЦІ

Стаття 4. Основні принципи діяльності в галузі охорони праці.

Державна політика в галузі охорони праці базується на вимогах:

- забезпечення і збереження працездатності людини до досягнення виробничої діяльності, підвищення її професійної кваліфікації та збереження здоров'я та вихідних умов праці;
- забезпечення умов здійснення трудової діяльності на основі наукової програми з профілактики та управління ризиком професійної захворюваності, професійних захворювань, травматизму та аварій на виробничому підприємстві;
- соціального захисту працівників, позбавлених здатності працювати, та їхньої потреби від втрати працездатності в професійних умовах;
- встановлення єдиної нормативної системи праці для всіх підприємств, незалежно від форм власності і галузі діяльності;
- впровадження економічних методів управління охороною праці, проведення комплексних оцінок умов праці, що створює сприятливі умови для підвищення умов праці, умов її організації і фінансування заходів щодо охорони праці;
- здійснення комплексних досліджень, професійно-фізичної і психологічної адаптації працівників з метою збереження праці;
- забезпечення надійності діяльності працівників, установа, підприємств та об'єктів, що виробляють ризик професійної аварії чи травматизму на виробничих підприємствах і підприємств розробки програм, програмних продуктів та систем, що використовують програмне забезпечення і/або інформацію та надання їм (їх представникам) всіх рівнів організаційного управління при прийнятті рішень з охорони праці на місцях та державному рівні;
- використання наукової інформації в галузі охорони праці, виконання спеціальних досліджень, проведення спеціальних робіт та заходів, спрямованих на збереження безпеки праці.

A4



95x91 см

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження проблеми утворення пилових викидів під час будівельних робіт та розроблено вдосконалену технологію їх зниження. На основі теоретичного аналізу, експериментальних даних та порівняльних оцінок сформульовано такі основні висновки.

1. Теоретичні передумови та актуальність проблеми

Пилові викиди будівельного походження становлять значну екологічну та санітарну загрозу, зокрема через дрібнодисперсні частинки $PM_{2.5}$ і PM_{10} , які негативно впливають на здоров'я людей та якість повітря у містах. Дослідження показало, що традиційні методи пилоподавлення забезпечують лише частковий ефект і не відповідають сучасним екологічним вимогам.

2. Аналіз існуючих технологій

Проведений огляд технологій засвідчив, що:

- мокрі методи забезпечують короткочасне зменшення пилу,
- механічні та інженерні системи ефективні, але дорогі й енергозатратні,
- хімічні реагенти мають довший ефект, але потребують екологічного контролю,
- інноваційні рішення провідних компаній демонструють високий рівень ефективності, однак мають високу вартість.

Жоден метод окремо не забезпечує комплексного розв'язання проблеми.

3. Розробка вдосконаленої технології

На основі аналізу сформовано комбіновану технологію, яка включає:

1. мікротуманоутворення,
2. локальне пиловловлювання,
3. стабілізацію поверхонь екологічними реагентами.

Розроблено технічну схему, описано конструктивні елементи та створено математичну модель оцінки ефективності.

4. Експериментальна перевірка

Дослідна перевірка на будівельному майданчику показала:

- зменшення PM_{10} на $\approx 76\%$;
- зменшення $PM_{2.5}$ на $\approx 83\%$;
- стабільність показників при різних умовах;
- відповідність вимогам безпеки праці.

Це підтверджує високу ефективність розробленої системи.

5. Порівняння з традиційними методами

Вдосконалена технологія перевершує традиційні методи за ключовими параметрами:

- ефективність вища у 1,5–3 рази,
- менше споживання води,
- автоматизація процесу,
- зниження експлуатаційних витрат,
- кращий контроль дрібнодисперсного пилу.

6. Екологічні та економічні переваги

Запропонована система:

- зменшує вплив будівництва на довкілля,
- оптимізує витрати ресурсів,
- покращує умови праці,
- знижує соціальне та екологічне навантаження на прилеглі території.

7. Перспективи розвитку

Технологія має значний потенціал для подальшого вдосконалення через:

- цифровізацію та автоматизацію процесів,
- розвиток нових екологічних реагентів,

- енергетичну оптимізацію,
- розширення сфер застосування.

Підсумковий висновок

Розроблена технологія є сучасним, ефективним та екологічно збалансованим рішенням для зменшення пилових викидів у будівництві. Її впровадження забезпечує підвищення рівня безпеки, відповідність екологічним вимогам та сприяє формуванню більш сталих і відповідальних підходів у будівельній галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беляєв, М. М. *Екологія будівництва: підручник*. Київ: Ліра-К, 2020.
2. Григоренко, В. О. *Охорона довкілля у будівництві*. Харків: ХНУБА, 2019.
3. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. *Настанова з організації будівельного виробництва*.
4. ДСТУ ISO 14001:2015. *Системи екологічного управління*.
5. ДСанПіН 2.2.4-171-10. *Державні санітарні норми повітря робочої зони*.
6. Жук, О. П., Коваленко, В. П. *Техногенне забруднення повітря: методи контролю та управління*. Київ: КНЕУ, 2021.
7. Інструкція з контролю та зменшення запиленості повітря на будівельних майданчиках. Міністерство розвитку громад та територій України, 2022.
8. Клименко, М. О. *Будівельна техніка та екологічна безпека*. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2018.
9. Литвиненко, І. Ю. *Промислова екологія*. Київ: Кондор, 2017.
10. Мінаєва, Т. І., Шерстюк, Т. М. *Екологічний моніторинг атмосферного повітря*. Київ: НАУ, 2019.
11. НПАОП 45.2-7.02-12. *Правила безпеки у будівництві*.
12. Постанова КМУ № 909 від 09.12.2020 «Про затвердження вимог щодо здійснення екологічного контролю».
13. *Правила благоустрою територій населених пунктів України*. Мінрегіон, 2021.
14. Ткаченко, І. М., Юрченко, В. С. *Методи та засоби зниження пилових викидів у будівництві*. Запоріжжя: ЗНУ, 2020.
15. Український гідрометеорологічний центр. *Методичні рекомендації з моніторингу пилу $PM_{2.5}$ та PM_{10}* . Київ, 2022.
16. Хомутич, О. А. *Охорона атмосферного повітря: навчальний посібник*. Харків: ХНУРЕ, 2020.

- 17.Шевченко, Л. П. *Вплив будівельних процесів на якість атмосферного повітря*. Одеса: ОДАБА, 2018.
- 18.BossTek. *Dust Control Handbook: Industrial Applications*. Illinois, USA, 2021.
- 19.Donaldson Company. *Industrial Filtration Technologies for Construction Sites*. Minnesota, USA, 2020.
- 20.FOGCO Systems. *High-Pressure Fogging Systems for Dust Suppression*. Arizona, USA, 2019.
- 21.WHO. *Air Quality Guidelines. Particulate Matter (PM_{2.5}, PM₁₀)*. World Health Organization, 2021.
- 22.European Commission. *Air Quality Standards and Monitoring Guidelines*. Brussels, 2020.
- 23.Hilti AG. *Dust Removal Systems: Technical Overview*. Schaan, Liechtenstein, 2022.
- 24.Caterpillar Inc. *Integrated Dust Control Solutions for Heavy Machinery*. Illinois, USA, 2020.

