

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ННІ холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського

Кафедра Екології, води та природоохоронних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма «Технології захисту навколишнього середовища»



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему **«Дослідження дисперсного складу та аеродинамічних властивостей
пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів»**

Здобувача Гуменного О. І.

2 курсу, ТЗС-467 групи

Керівник доцент Мадані М.М.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 2024 р., протокол № _____

Завідувач кафедри ЕВтаПТ _____ Олексій ГАРКОВИЧ

Одеса – 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ННІ холоду, кріотехнології та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
Освітня програма «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

к-т біол. наук, доц.

_____ **О. Л. Гаркович**

“ ____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

_____ **Гуменного Олександра Івановича**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження дисперсного складу та аеродинамічних властивостей пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів».
Затверджена наказом ОНТУ від «28» березня 2024 року, наказ № 139-03
2. Термін здачі здобувачем роботи 01.12.24 р.
3. Вихідні дані роботи визначення основних властивостей пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні ТПВ.
4. Перелік питань, які потрібно розробити здійснити аналіз складу будівельних відходів; провести аналіз методів розрахунку викидів пилу в атмосферу від неорганізованих джере; розглянути класифікацію пилу будівельних матеріалів за дисперсністю; дослідити дисперсний пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні ТПВ; визначити швидкість осідання пилу під час розміщення будівельних відходів на полігоні; визначити концентрацію частинок PM_{10} та $PM_{2.5}$ для викидів пилу; розробити інженерно-технічних рішень для зниження викидів пилу в атмосферу при дробленні будівельних відходів на полігоні; охарактеризувати заходи щодо охорони праці для працівників полігонів ТПВ; розрахувати зону надзвичайної ситуації при вибухах біогазу на полігонах ТПВ.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Таблиці та схеми, що відображають хід виконання випускної кваліфікаційної роботи.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Мадані М.М., доцент	28.03	9. 10
2	Мадані М.М., доцент	28.03	18.10
3	Мадані М.М., доцент	28.03	14.11
4	Мадані М.М., доцент	28.03	21.11
5	Мадані М.М., доцент	28.03	29.11

7. Дата видачі завдання 28.03.2024 р.

Керівник _____ Марія МАДАНИ
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ Олександр ГУМЕННИЙ
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналітичний огляд та вибір напрямку досліджень	5.10.24	
2.	Аналіз складу будівельних відходів	7.10.24	
3.	Дисперсійний аналіз пилу будівельних відходів	12.10. 24	
4.	Визначення швидкості осідання пилу	14.10.24	
5.	Дослідження аеродинамічних властивостей пилу	5.11.24	
6.	Визначення концентрацій частинок РМ ₁₀ та РМ _{2,5}	9.11.24	
7.	Розробка рішень для зниження викидів пилу в атмосферу при дробленні будівельних відходів	14.11.24	
8.	Формулювання висновків та рекомендацій	29.11.24	
9.	Оформлення презентаційних матеріалів	6.12.24	

Здобувач-дипломник _____ Олександр ГУМЕННИЙ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Марія МАДАНИ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник Олександр ГУМЕННИЙ
(прізвище та ініціали) (підпис)

АНОТАЦІЯ

Розрахунково-пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи: стор. – 80, рис. – 36, табл. – 15, формули - 21, література – 39.

Перелік ключових слів: будівельні відходи, пил, дисперсний склад, полігони твердих побутових відходів (ТПВ).

Тема: Дослідження дисперсного складу та аеродинамічних властивостей пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів.

Об'єкт дослідження: пил, що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні ТПВ.

Предмет дослідження: оцінка впливу пилових викидів будівельних відходів на забруднення атмосфери.

Мета досліджень: забезпечення захисту атмосфери від пилового забруднення під час розміщення будівельних відходів на полігонах ТПВ на основі дослідження основних властивостей пилу, що утворюється при їх похованні.

Кваліфікаційна робота магістра складається з таких розділів:

Розділ 1. Наведено аналіз складу будівельних відходів та методів розрахунку викидів пилу в атмосферу від неорганізованих джерел.

Обґрунтовано та вибрано напрямок дослідження. Наведено висновки до першого розділу.

Розділ 2. Розглянуто класифікацію пилу будівельних матеріалів за дисперсністю; наведено результати дисперсійного аналізу пилу та швидкості осідання пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні;

Наведено висновки до другого розділу.

Розділ 3. Розроблено рішення щодо зниження викидів пилу в атмосферу при дробленні будівельних відходів на полігоні. Наведено висновки до третього розділу.

Розділ 4. Охарактеризовано заходи щодо охорони праці та проведена оцінка професійних ризиків працівників полігонів ТПВ.

Розділ 5. Розраховано зону надзвичайної ситуації при вибухах біогазу на полігонах ТПВ.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ І ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	5
1.1 Аналіз складу будівельних відходів.....	5
1.2 Аналіз методів розрахунку викидів пилу в атмосферу від неорганізованих джерел.....	12
1.3 Обґрунтування та вибір напряму досліджень	15
1.4 Висновки до першого розділу	17
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ ТА АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПИЛУ, ЩО УТВОРЮЄТЬСЯ ПРИ РОЗМІЩЕНІ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ.....	18
2.1 Характеристика об'єкта дослідження.....	18
2.2 Класифікація пилу будівельних матеріалів за дисперсністю.....	22
2.3 Результати дисперсійного аналізу пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні.....	24
2.4 Математична обробка результатів дисперсійного аналізу.....	29
2.5 Визначення швидкості осідання пилу під час розміщення будівельних відходів на полігоні.....	35
2.6 Висновки до другого розділу.....	42
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА РІШЕНЬ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЗАПАЛИНОСТІ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ РОЗМІЩЕННІ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ НА ПОЛІГОНІ.....	43
3.1 Визначення концентрацій частинок PM_{10} та $PM_{2,5}$ для викидів пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні.....	43
3.2 Розробка інженерно-технічних рішень для зниження викидів пилу в атмосферу при дробленні будівельних відходів на полігоні.....	48
3.3 Висновки до третього розділу.....	58
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	59
4.1 Організація охорони праці та оцінка професійних ризиків працівників полігонів ТПВ.....	59
4.2 Висновки до четвертого розділу.....	69
РОЗДІЛ 5 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.....	71
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76

ВСТУП

Актуальність дослідження. В даний час все більшого значення набуває проблема утилізації відходів, що утворюються при новому будівництві, демонтажі, реконструкції, капітальному та поточному ремонті будівель та споруд. Щорічний обсяг відходів цього виду в Україні, за даними статистики, становить 15-17 млн. тонн.

Якщо у закордонній практиці поводження з будівельними відходами застосовується їх рециклінг, то в нашій країні це питання вирішується у вигляді розміщення на полігонах для поховання ТПВ, які у цьому випадку стають джерелами пилового забруднення атмосфери. Однак це пилове забруднення не враховується при експлуатації полігонів ТПВ та моніторингу стану навколишнього природного середовища, який включає в себе контроль тільки газового складу атмосфери, а також контроль якості поверхневих та підземних вод.

Крім того, визначення об'єму пиловиділень за діючими методикам визиває труднощі, у зв'язку з багатоконпонентним складом, а також недостатньою вивченістю дисперсного складу та аеродинамічних характеристик пилу, що утворюється під час розміщення відходів будівництва на полігонах ТПВ.

Тому актуальними є дослідження, спрямовані на вивчення дисперсного складу та аеродинамічних властивостей пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігонах ТПВ.

Мета дослідження – забезпечення захисту атмосфери від пилового забруднення під час розміщення будівельних відходів на полігонах ТПВ на основі дослідження основних властивостей пилу, що утворюється при їх похованні.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішувалися наступні завдання:

- аналіз якісного складу будівельних відходів;

- аналіз закономірностей поширення у навколишньому середовищі пилу, що виділяється від неорганізованих джерел полігонів ТПВ;
- експериментальні дослідження щодо виявлення закономірностей поширення в навколишньому середовищі пилу, що утворюється під час розміщення будівельних відходів на полігоні ТПВ;
- дослідження дисперсного складу та аеродинамічних характеристик пилу, що надходить в атмосферне повітря при здійсненні різних операцій, пов'язаних із розміщенням будівельних відходів на полігоні (розвантаження, ущільнення відходів, формування проміжного ізолюючого шару тощо);
- визначення концентрацій частинок PM_{10} та $PM_{2,5}$ для пилу, що надходить у повітряне середовище під час розміщення відходів будівництва на полігоні;
- розробка інженерно-технічних заходів щодо зниження пиловиділення в процесі дроблення будівельних відходів, теоретична та експериментальна оцінка їх ефективності.

Методи дослідження включали: аналітичне узагальнення відомих наукових та технічних результатів, експериментальні дослідження в натурних та лабораторних умовах, обробку експериментальних даних методами математичної статистики.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ І ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз складу будівельних відходів

Відповідно до класифікатора видів економічної діяльності, будівництво «включає в себе нове будівництво, реконструкцію, капітальний та поточний ремонт будівель та споруд...» [1]. При здійсненні цього виду економічної діяльності утворюються відходи виробництва, звані будівельними відходами чи відходами будівництва. Слід зазначити, що поняття «будівельні відходи» – умовне, що застосовується лише для того, щоб відрізнити специфічність відходів, що утворюються під час будівництва, від відходів інших виробництв. Незважаючи на постійне вдосконалення будівельних технологій, такі відходи все одно супроводжують кожний об'єкт будівництва та об'єкти капітального ремонту чи демонтажу (зносу).

Відходи будівництва за періодом накопичення можна поділити на кілька категорій.

До першої категорії відносяться відходи, що утворюються відразу після початку ремонтних або будівельних робіт під час очищення будівельного майданчика (об'єкта ремонту), знесення старих будівель при будівництві, демонтажу окремих будівельних конструкцій (наприклад, вікон та дверей) при капітальному ремонті тощо. Такі відходи, як правило, характеризуються великими об'ємами та вагою (рисунок 1.1), та повинні вивозитись до початку будівельних робіт.

До другої категорії можна віднести відходи, що утворюються безпосередньо у процесі проведення будівельних робіт. У цю групу відходів входять невикористані або залишки частково використаних будівельних матеріалів, конструкцій та виробів, упаковка від них тощо. Такі відходи повинні видалятися в міру їх накопичення на будівельному майданчику, щоб уникнути перешкод для виконання будівельно-ремонтних робіт.

До третьої категорії можна віднести відходи, що утворюються на останньому етапі будівництва чи капітального ремонту, тобто на етапі оздоблювальних робіт.



Рис. 1.1 – Процес підготовки майданчика для проведення будівельних робіт

У існуючій редакції Державного класифікатору відходів (ДК 005-96) будівельні відходи не виділені в окрему групу, як, наприклад, «відходи виробництва харчових та смакових продуктів» або «відходи обробки та переробки натуральної деревини», або «відходи видобувної промисловості» тощо [2].

Розглянемо якісно-кількісний склад відходів на прикладі будівництва реального об'єкта – житловий комплекс KADORR City на вул. Краснова , 3, м. Одеса (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Характеристика відходів , що утворюються під час будівництва ЖК KADORR City на вул. Краснова, 3, м. Одеса

Назва відходу за ДК 005-96	Код відходу за ДК 005-96	Клас небезпеки відходу	Технологічний процес	Кількість відходів, т/рік	Кількість відходів (всього за період будівництва), т
1	2	3	4	5	6
Відходи бітуму, асфальту в твердій формі	5490120001004	IV	Будівельні роботи	0,485	1,94
Відходи шлаковати	314016001004	IV		2,52	10,08
Відходи руберойду, толі та паперу, просоченого бітумом	1872040001000	IV		1,227	4,908
Текстиль, забруднений ЛФМ	5820000000000	IV		0,06	0,24
Сміття від побутових приміщень, несортоване (без крупногабаритного)	9120040001004	IV		49,71	198,8
Інші тверді мінеральні відходи (грунт, забруднений нафтопродуктами менше 15 %)	3140000000000	IV	Ліквідація проливів нафтопродуктів	0,25	1,0
Пісок, забруднений мастилами (вміст мастила менше 15 %)	3140230301034	IV		0,25	1,0
Взуття робоче, що втратило споживчі властивості	1470060113004	IV	Заміна спецвзуття	0,353	1,4113
Відходи абразивних матеріалів у вигляді пилу та порошку	3140430411004	IV	Будівельні роботи	0,215	0,86

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6
Металобрухт та відходи чорних металів з домішками або забруднені небезпечними речовинами	351500001000	IV	Будівельні роботи	2,316	9,264
Пил (або порошок від шліфування чорних металів з вмістом металу 50 % та більше)	3515036611004	IV		35,11	140,43
Медичні відходи	9700000000000	IV	Медпункт	0,031	0,123
Всього IV класу				116,5	466,0736
Відходи пакувального паперу незабруднені	1871020101005	V	Розпакування	0,8	3,2
Відходи картону пакувального незабруднені	1871020201005	V		1,0	4,0
Відходи поліетилену у вигляді плівки	5710290101995	V		0,6	2,4
Відходи поліетилену у вигляді брухту, латників	5710290101995	V		0,06	0,24
Електричні лампи розжарювання, відпрацьовані та брак	9231010001995	V		0,032	0,1278
Відходи паперу та картону від канцелярської діяльності та діловодства	1871030001005	V		0,004	0,016
Гумові вироби незабруднені, що втратили споживчі властивості	5750010113005	V		5,765	23,061
Харчові відходи кухонь та організацій громадського харчування несортовані		V		32,11	128,4667

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6
Скляний бій незабруднений (виключаючи бій електронно-променевих трубок та люмінесцентних ламп)	3140080201995	V		0,016	0,0624
Відходи сучків, гілок від лісорозробок	1730010101005	V		60,55	242,2000
Залишки та недогарки сталевих зварювальних електродів	3512160101995	V	Зварювальні роботи	13,449	53,7967
Відходи ізольованих проводів та кабелів	9236000013005	V		0,000025	0,0001
Відходи цементу в кусковій формі	3140550201995	V	Будівельні роботи	0,0392	0,01
Відходи дерев'яні з натуральної чистої деревини несортвані	171120001005	V		0,0200	0,005
Відходи бетонної суміші із вмістом пилу менше 30 %	3140360208995	V		2,744	10,9740
Абразивні круги відпрацьовані, брухт відпрацьованих абразивних кругів	3140430201995	V		6,156	24,6236
Всього V класу				127,191	508,759
Всього IV та V класів				243,711	974,8326

Таблиця 1.2 - Відходи будівельно-ремонтних та будівельно-монтажних робіт

Назва відходу за ДК 005-96	Код відходу за ДК 005-96	Клас небезпеки відходу	Стан	Небезпечні властивості
1	2	3	4	5
Вироби з натуральної деревини, що втратили свої споживчі властивості	1711050313005	V	тверді	
Відходи деревних будівельних матеріалів, у тому числі від зносу та розбирання будівель	1712050701004	IV	тверді	
Відходи руберойду	1872040101014	IV	тверді	ТОКСИЧНІСТЬ
Відходи керамзиту у кусковій формі	3140010201995	V	тверді	
Керамічні вироби, що втратили споживчі властивості	3140070301995	V	тверді	
Будівельний щебінь, що втратив споживчі властивості	3140090201995	V	тверді	
Відходи азбоцементу в кусковій формі	3140120201014	IV	тверді	ТОКСИЧНІСТЬ
Відходи крейди у вигляді порошку або пилу	3140130511904	IV	тверді	ТОКСИЧНІСТЬ
Бій цегляної кладки під час ремонту будівель та споруд	3410140301995	V	тверді	
Бій будівельної цегли	3140140401995	V	тверді	
Бій бетонних виробів, відходи бетону в кусковій формі	3140270101995	V	тверді	
Бій залізобетонних виробів, відходи залізобетону у кусковій формі	3140270201995	V	тверді	

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5
Пил бетонний	3140270301995	IV	пилоподібні	
Відходи асбесту в кусковій формі	3140370201014	IV	тверді	токсичність
Відходи гіпсу в кусковій формі	3140380201995	V	тверді	
Відходи цементу в кусковій формі	3140550201995	V	тверді	
Відходи бітуму, асфальту у твердій формі	5491120001004	IV	тверді	
Залишки толуолу, що втратив споживчі властивості	5530250102073	III	рідкі	токсичність, пожежонебезпека
Відходи ксилолу, що втратив споживчі властивості	5530270102073	III	рідкі	токсичність, пожежонебезпека
Відходи клею, клеючих речовин, мастик, смоли, що не затверділа	5570000000000			
Відходи лакофарбових засобів	5560000000000			
Сміття будівельне від розбирання будівель	9120060101001	IV		

Крім перерахованих у таблиці 1.1, на основі аналізу технологічних процесів будівництва [3-6] у Державному класифікаторі можна виділити список відходів, що утворюються під час будівельно-ремонтних та будівельно-монтажних робіт (таблиця 1.2).

Таким чином, номенклатура будівельних відходів дуже різноманітна та широка.

В основному відходи будівництва відносяться до IV та V класів небезпеки, за винятком лакофарбових засобів [2].

Аналіз статистичних даних показав, що, наприклад, у процентному співвідношенні відходи, що утворюються при знесенні будівель, складають: бита цегла – 63 %, бетон та залізобетонні вироби – 26 %, деревина – 4 %, металобрухт – 1 %, інші будівельні відходи – 6 %.

1.2 Аналіз методів розрахунку викидів пилу в атмосферу від неорганізованих джерел

В даний час для розрахунку викидів забруднюючих речовин до атмосфери для таких джерел, як вантажно-розвантажувальні роботи і статичного зберігання сипучих вантажів, використовуються такі методи [7-9].

Відповідно до цих методів, при визначенні викидів від неорганізованих джерел використовуються розрахункові методи із застосуванням питомих показників викидів забруднюючих речовин.

При вивантаженні матеріалів об'єм викидів пилу можна визначити за допомогою виразу [8]

$$M_{\text{вив}} = 10^6 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_7 K_8 K_9 B G_{\text{ц}} / 3600, \text{ г/с} \quad (1.1)$$

і для валових викидів

$$P_{\text{вив}} = 10^6 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_7 K_8 K_9 B G_{\text{рик}} / 3600, \text{т/рік} \quad (1.2)$$

де K_1 – вагова частка фракції пилу в матеріалі (визначається при відмиванні і просіюванні середньої проби з виділенням пилової фракції розміром від 0 до 200 мкм [8]);

K_2 – частка пилу (від загальної маси пилу), що переходить в аерозоль (перевірка фактичного дисперсного складу пилу і уточнення значень коефіцієнта K_2 складається за результатами відбору проб біля об'єкту виділення пилу при швидкості вітру 2 м/с, що дує в напрямку точки відбору проб [8]);

K_3 – коефіцієнт, що враховує місцеві метеорологічні умови (приймаємо за табл. 2 [8]);

K_4 – коефіцієнт, що враховує місцеві умови, ступінь захищеності вузла від зовнішніх впливів, умов пилоутворення (приймаємо за табл. 3 [8]);

K_5 – коефіцієнт, що враховує вологість матеріалу (приймаємо за табл. 4 [70]); при цьому, під вологістю матеріалу розуміється вологість його пилу та дрібнозернистої фракції ($d < 1$ мм);

K_7 – коефіцієнт, що враховує крупність матеріалу (приймаємо за табл. 5 [8]);

K_8 – поправковий коефіцієнт для різних матеріалів залежно від типу грейфера (приймаємо за табл. 6 [8]); при використанні інших типів вантажно-розвантажувальних пристроїв $K_8 = 1$;

K_9 – поправковий коефіцієнт при потужному залповому скиданні матеріалу при розвантаженні самоскида. Передбачається, що він дорівнює 0,2 при скиданні матеріалу масою до 10 т, і 0,1 – понад 10 т. Для інших неорганізованих джерел $K_9 = 1$ [8];

B – коефіцієнт, що враховує висоту висипання (приймаємо за табл. 7 [8]);

$G_{\text{ц}}$ – загальна кількість оброблюваного матеріалу, т/год.

У таблиці 1.3 як приклад наведено значення коефіцієнтів K_1 і K_2 для деяких будівельних матеріалів.

Таблиця 1.3 – Значення коефіцієнтів K_1 і K_2 для визначення викидів пилу [8]

Назва матеріалу	Густина матеріалу, г/см ³	Масова частка пилової фракції в матеріалі, K_1	Частка пилу, що переходить в аерозоль, K_2
Цемент	3,1	0,04	0,03
Кускове вапно	2,7	0,04	0,02
Вапно мелене	2,7	0,07	0,05
Граніт подрібнений	2,8	0,02	0,04
Мрамур подрібнений	2,8	0,04	0,06
Крейда	2,7	0,05	0,07
Гіпс молотий	2,6	0,08	0,04
Керамзит	2,5	0,06	0,02
Вапняно-піщана суміш	2,6	0,05	0,01
Цегляний бій	Приймається за вихідним матеріалом	0,05	0,01
Мінеральна вата		0,05	0,01
Щебінь		0,04	0,02
Гравій		0,01	0,001
Тирса		0,04	0,01
Піщано-гравійна суміш (ПГС)	2,6	0,03	0,04

При зберіганні пилоподібних матеріалів питомий викид забруднюючої речовини рекомендується визначати за виразом [8]

$$M_{зб} = K_4 K_5 K_6 K_7 q F_{роб} + 0,11 K_4 K_5 K_6 K_7 q (F_{пл} - F_{роб}) (1 - \eta), \text{ г/с} \quad (1.3)$$

валовий викид

$$P_{зб} = 0,9504 \cdot 10^{-2} K_4 K_5 K_6 K_7 q F_{пл} (1 - \eta) (T - T_d - T_c), \text{ г/рік} \quad (1.4)$$

де K_6 – коефіцієнт, що враховує профіль поверхні матеріалу, що підлягає зберіганню, визначається як відношення $K_6 = F_{\text{макс}}/F_{\text{пл}}$;

$F_{\text{пл}}$ – поверхня пиловиділення в плані, м²;

$F_{\text{макс}}$ – фактична площа поверхні матеріалу, що зберігається при максимальному заповненні складу, м;

$F_{\text{роб}}$ – площа в плані, на якій систематично виконуються вантажно-розвантажувальні роботи (не рідше 1 разу на тиждень), м²;

q – максимальне питоме здування пилу, г/(м • с);

T – сумарний час зберігання матеріалу за період, що розглядається, дів;

$T_{\text{д}}$ – кількість днів з дощем, днів;

$T_{\text{с}}$ – кількість днів зі стабільним сніговим покривом, днів.

Величина максимального питомого здування пилу визначається виразом [8]:

$$q = av^b \quad (1.5)$$

де a , b - емпіричні коефіцієнти, що залежать від типу матеріалу, що перевантажується (приймається за табл. 8 [8]).

1.3 Обґрунтування та вибір напрямку дослідження

В даний час, згідно зі статистикою, в Україні щорічно утворюється до 17 млн. тонн будівельного сміття, тобто відходів, що утворюються при будівництві нових об'єктів, реконструкції або капітального ремонту існуючих будівель і споруд, а також при проведенні їх демонтажу або знесення.

Реалізація численних державних програм, як у сфері міжнародного співробітництва України (наприклад, будівництво нових та реконструкція існуючих житлових будинків, відновлення пошкоджених закладів освіти та споруд для проведення спортивних змагань, будівництво великих промислових підприємств тощо), і спрямованих на забезпечення сталого розвитку різних регіонів країни (наприклад, програма з відновлення прифронтових областей)

пов'язане зі значним зростанням темпів і об'ємів будівництва, а, отже, зі значним збільшенням об'ємів будівельного сміття.

У той же час, як показав аналіз, даний вид відходів характеризується різноманітним компонентним складом, який також буде розширюватися за рахунок появи нових будівельних матеріалів і виробів.

У зарубіжній практиці поводження з будівельними відходами існує широкий спектр їх переробки, тобто використання в якості вторинної сировини при виробництві будівельних матеріалів. Однак в Україні такий підхід не знайшов широкого поширення, і будівельне сміття або розміщується на сміттєзвалищах, або відправляються на полігони для поховання. У той же час, у зв'язку з відсутністю спеціалізованих полігонів для будівельного сміття, останні підлягають захороненню на полігонах ТПВ або використовуються на цих об'єктах для формування проміжних ізоляційних шарів.

Однак очевидно, що виконання різних операцій на полігоні, пов'язаних з розміщенням будівельного сміття, таких як вивантаження з транспортних засобів, виштовхування на поверхню робочої карти, ущільнення тощо, буде супроводжуватися виділенням пилу.

З іншого боку, перераховані вище операції відносяться до категорії неорганізованих джерел викидів в атмосферне повітря, і об'єм викидів для них визначається згідно з діючих методик для даного типу джерел. Однак використовувані в цих методиках поправкові коефіцієнти віднесені до конкретних будівельних матеріалів (наприклад, цемент, мелений гіпс, вапняно-піщана суміш тощо), тоді як будівельне сміття має багатоконпонентний склад, і пил, що утворюється при його розміщенні на полігоні, також, очевидно буде багатоконпонентним.

Все вищесказане визначило вибір напрямку наукового дослідження – вивчення дисперсного складу та аеродинамічних властивостей пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігонах ТПВ.

1.4 Висновки до першого розділу

1. На основі проведеного аналізу встановлено кількісно-якісні характеристики будівельного сміття.

2. Застосування існуючих методик для визначення маси викидів пилю при вантажно-розвантажувальних роботах і статичному зберіганні пилоподібних матеріалів на відкритих складах, має складнощі в оцінюванні викидів пилю в період експлуатації полігонів ТПВ, з огляду на багатокomпонентний склад відходів, прийнятих на захоронення.

3. За результатами аналізу літературних джерел визначено та обґрунтовано напрям дослідження.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ ТА АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПИЛУ, ЩО УТВОРЮЄТЬСЯ ПРИ РОЗМІЩЕНІ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ НА ПОЛІГОНІ

2.1 Характеристика об'єкта дослідження

Експериментальні дослідження для оцінки закономірностей поширення викидів пилу при розміщенні будівельних відходів були проведені на полігоні «Дальницькі кар'єри», що розташований на території Овідіопольського та Біляївського районів Одеської області. Полігон використовується для захоронення твердих побутових та промислових відходів IV і V класів екологічної небезпеки.

У складі полігону організовано три зони: виробнича, допоміжна та господарча.

Виробнича зона: №1 - №23 - карти для захоронення твердих побутових відходів та промислових відходів IV і V класів небезпеки.

Допоміжна зона: кільцева дорога, канава для відведення дощової та талої води з прилеглої до полігону території; кільцеве обвалування.

Господарча зона: вагон з побутовими приміщеннями, КПП (контрольно пропускний пункт), майданчик для стоянки техніки, очисних споруд дощових стоків, дезінфекційний бар'єр, пожежний резервуар.

В'їзд на територію полігону здійснюється через пункт пропуску.

Основним об'єктом полігону є виробнича зона. Ділянка для зберігання твердих побутових відходів та промислових відходів розбита на 23 карти; з розмірами 100 м x 31,0 м - 6 карт; 100,25 м x 31,0 м - 12 карт; карти розміром 93,5 x 31,0 м – 5 карт. Відстань між картами – 10,0 м.

Середня глибина залягання карт (рисунок 2.1) береться за станом існуючого рельєфу місцевості та рівнем залягання ґрунтових вод (від дна шару відходів до рівня залягання ґрунтових вод прийнято не менше 2,0 м). Схили карт на довгих сторонах прийняті 1:1, по коротких – 1:3 і 1:4. Схил дна карт направлений в сторону напрямків для збору фільтрату.



Рис. 2.1 – Загальний вигляд робочої карти полігону

На полігон приймаються промислові (будівельні) відходи компаній України, що ведуть будівництво на території Одеської області та ТПВ від осіб, які працюють на будівництві.

Тверді побутові відходи вивантажуються зі сміттєвоза на майданчику перед робочою картою і машина їде. Бульдозер виштовхує відходи в карту, пересуває їх на ділянку робочої карти, виділену на дану добу, а потім ущільнює тверді побутові відходи.

Таким чином, заповнюється вся робоча карта ущільненим шаром не більше 0,5 м і починає формуватися другий, третій і четвертий шари, доки не сформується ущільнений шар висотою 2 м.

Після формування двометрового шару з ТПВ проводиться засипка і ущільнення проміжного ізоляційного шару товщиною 0,25 м. Проміжний ізоляційний шар формується з промислових відходів IV і V класів небезпеки, що отримані при будівництві, які також розвантажуються на майданчику поруч з робочою картою і залишаються там до тих пір, поки не знадобиться формування ізоляційного шару.

У зв'язку з недостатньою кількістю промислових відходів IV і V класів небезпеки проміжний ізоляційний шар також формується з ґрунту, отриманого в ході облаштування карт і зберігається поруч з робочою картою для подальшого його використання під час ізоляції ТПВ (рисунок 2.2).

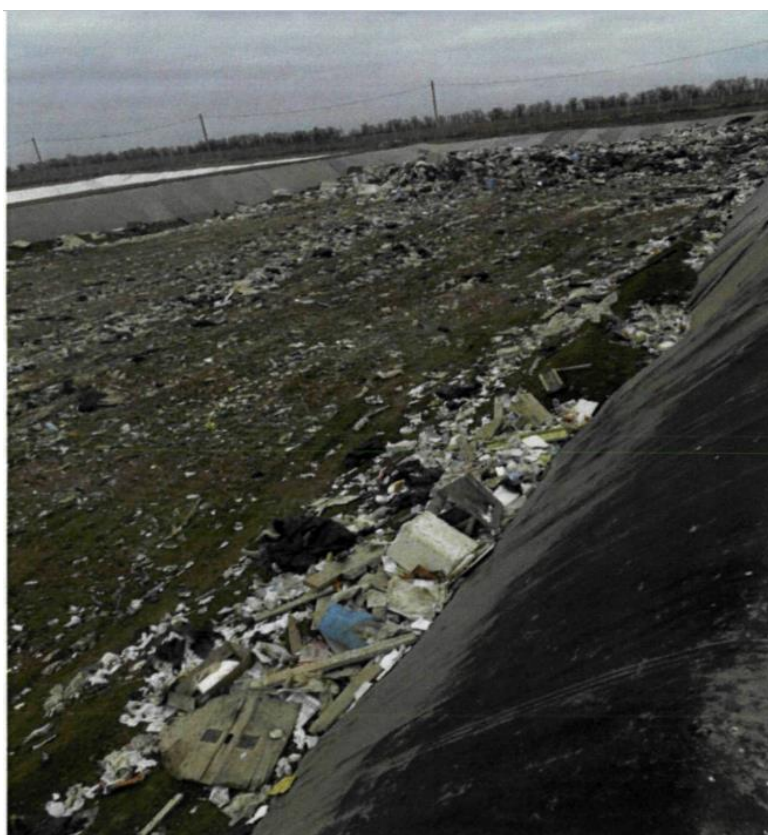


Рис. 2.2 – Загальний вигляд робочої карти після формування проміжного ізоляційного шару

Потім знову формується ущільнений шар ТПВ і вздовж нього остаточний герметичний шар ізоляції 1,0 м. Ґрунт для ізоляції береться з наступної карти після зняття рослинного шару. Зсування, ущільнення та рівномірний розподіл по поверхні ТПВ ізоляційного шару забезпечується все тим же бульдозером.

Об'єм твердих побутових відходів, прийнятих на полігоні (неущільнених):

- протягом доби $12500,0 : 253 = 49,4 \text{ м}^3$ (9,88 т);
- протягом місяця $12500,0 : 12 = 1041,7 \text{ м}^3$ (208,34 т);
- протягом року $500000,0 : 40 = 12500,0 \text{ м}^3$ (2500 т).

Загальний об'єм суглинків, промислових (будівельних) відходів IV і V класів небезпеки, необхідних для ізоляції шарів ТПВ (неущільнених):

- протягом доби $49,4 \times 0,37 = 18,3 \text{ м}^3$;
- протягом місяця $1041,7 \times 0,37 = 385,4 \text{ м}^3$;
- протягом року $12500,0 \times 0,37 = 4625,0 \text{ м}^3$.



Рис. 2.3 – Загальний вигляд дробарки для подрібнення будівельних відходів

Майданчик вивантаження перед робочою картою розділяється на дві частини. На одій частині проходить розвантаження, на іншій працює бульдозер. Перед формуванням проміжного ізоляційного шару будівельне сміття, що використовується для цієї мети, подрібнюється за допомогою дробарки (рисунок 2.3).

2.2 Класифікація пилу будівельних матеріалів за дисперсністю

Як правило, пил будівельних матеріалів є сумішшю частинок різних неорганічних речовин [10-17], які різняться між собою за розмірами та формою пилових частинок, за густиною та іншими властивостями, що визначають поведінку пилу в повітрі.

У різні роки різними дослідниками [18-20] були представлені класифікації аерозольних систем, зокрема й пилу, за дисперсністю. Однак досі не розроблена єдина загальноприйнята класифікація аерозолів за дисперсністю.

Пилом називають дисперсійні аерозолі з твердими частинками незалежно від їхньої дисперсності [20]. При цьому дисперсність аерозолів змінюється у величезному інтервалі – від 0,01 мкм до 104 мкм. Можливістю тривалого самостійного існування дуже малих частинок визначається нижня межа. Великі частинки досить швидко осідають під дією гравітаційних сил, тому у зваженому стані практично не спостерігаються, цим обмежується верхня межа [20].

Відповідно до запропонованої у [20] «природної класифікації», яка заснована на закономірностях розподілу аерозолів та на їх фізико-хімічних властивостях, за дисперсністю аерозолі можна розділити на:

– високодисперсні аерозолі з радіусом частинок до 0,5 мкм; мають наступні характеристики: опір руху та швидкість осадження пропорційні квадрату радіусу; розсіювання світла частинками пропорційно r^6 ; броунівський рух переважає над осіданням під дією гравітації;

– грубодисперсні аерозолі з розміром частинок понад 10 мкм; характеризуються значною перевагою осідання над броунівським рухом;

– аерозольні системи із середньою дисперсністю частинок (від 0,5 до 10 мкм); виділяються в окрему групу, мають перехідні властивості.

Запропоновано класифікацію пилу за номограмою, нанесеною на подвійну логарифмічну сітку [18-20]. Пізніше ця номограма перенесена на ймовірнісно-логарифмічну сітку [15, 21], на якій штрихпунктирними лініями показані межі класифікаційних груп пилу (рисунок 2.4).

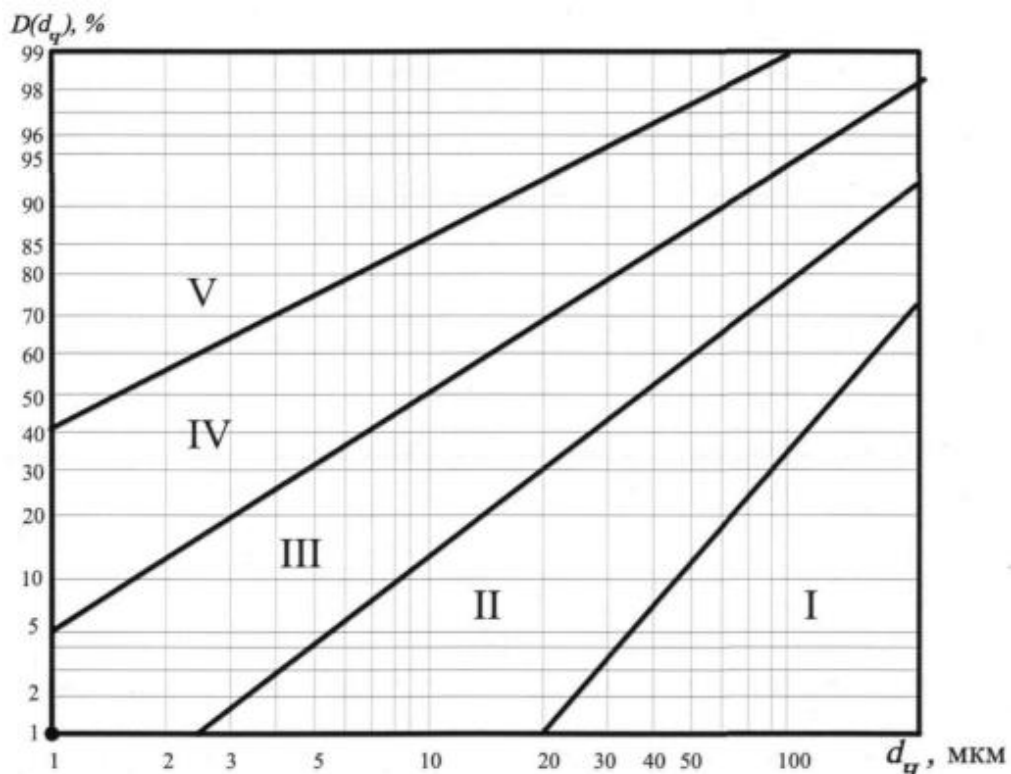


Рис. 2.4 – Класифікаційна номограма:

I–V – групи пилу за дисперсністю: I – дуже великодисперсний пил;

II – великодисперсний пил; III – середньодисперсний пил;

IV – дрібнодисперсна пил; V – дуже дрібнодисперсний пил

Розташування інтегральної кривої проходу у тій чи іншій зоні номограми означає належність досліджуваного пилу до відповідної класифікаційної групи. Дуже часто криві розподілу мають вигляд ламаних ліній, або можуть розташовуватися несиметрично стосовно меж класифікаційної групи. Тим не менш, цим важко визначити групу дисперсності.

У класифікації автор [19] ділить пил тільки на тонкодисперсний (з розмірами менше 20 мкм) та грубодисперсний (з розмірами понад 20 мкм).

У виробництвах будівельних матеріалів до пилу відносять тверді частинки матеріалу з розмірами менше 150 мкм, і по дисперсності ділять пил на 4 категорії [22]:

1 – великий пил, який має розміри від 50 до 150 мкм, швидко осідає з дисперсійного середовища, його видно неозброєним оком;

2 – дрібний пил – пил з розмірами 10-50 мкм; характеризується незначною швидкістю осідання може бути побачений під мікроскопом при малому збільшенні;

3 – тонкий пил (0,1–20 мкм); важко осідає з дисперсійного середовища; видно під звичайним мікроскопом;

4 – дуже тонкий пил ($< 0,1$ мкм); частинки знаходяться у броунівському русі; виявляється під електронним мікроскопом.

Очевидно, що незважаючи на деякі відмінності в класифікаціях, багато хто з авторів називають дрібнодисперсним або тонкодисперсним пилом, частинки які мають розміри до 20 мкм.

2.3 Результати дисперсійного аналізу пилу, що утворюється при розміщення будівельних відходів на полігоні

Для оцінки фракційного складу пилу, що надходить в атмосферне повітря при розміщенні будівельних відходів на полігоні були відібрані проби

під час проведення технологічних операцій, тобто при вивантаженні будівельних відходів із самоскида, ущільненні відходів бульдозером на робочій карті, формуванні проміжного ізолюючого шару з подрібнених будівельних відходів та з ґрунту, відкрите зберігання подрібнених будівельних відходів та ґрунту.

При цьому проби відбиралися під час поступання на полігон відходів, що утворюються під час проведення різних видів будівельних операцій:

- будівельно-монтажні роботи (бій цегли, бетон, дерев'яні вироби тощо);
- мобільне виробництво будівельних матеріалів (БРУ (бетонно-розчинна установка) виготовлення блоків, просипи піску, цементу, щебеню тощо);
- оздоблювальні роботи (гіпс кусковий та порошкоподібний, силікатна маса тощо).

Відбір проб здійснювався за стандартною методикою [23] з використанням стандартного комплексу пилозабірного обладнання. Дисперсійний аналіз проводився методом мікроскопії [21, 24] за методикою [24, 25].

Результати дисперсійного аналізу наведено на рисунках 2.5–2.11 для перерахованих вище процесів.

Отримані дані свідчать про те, що пил, що виділяється від будівельних відходів при їх розміщенні на полігоні є полідисперсним, і містить усі фракції, які за існуючими класифікаціями (п.п. 2.2), відносяться до дрібнодисперсного, середньодисперсного та великодисперсного пилу.

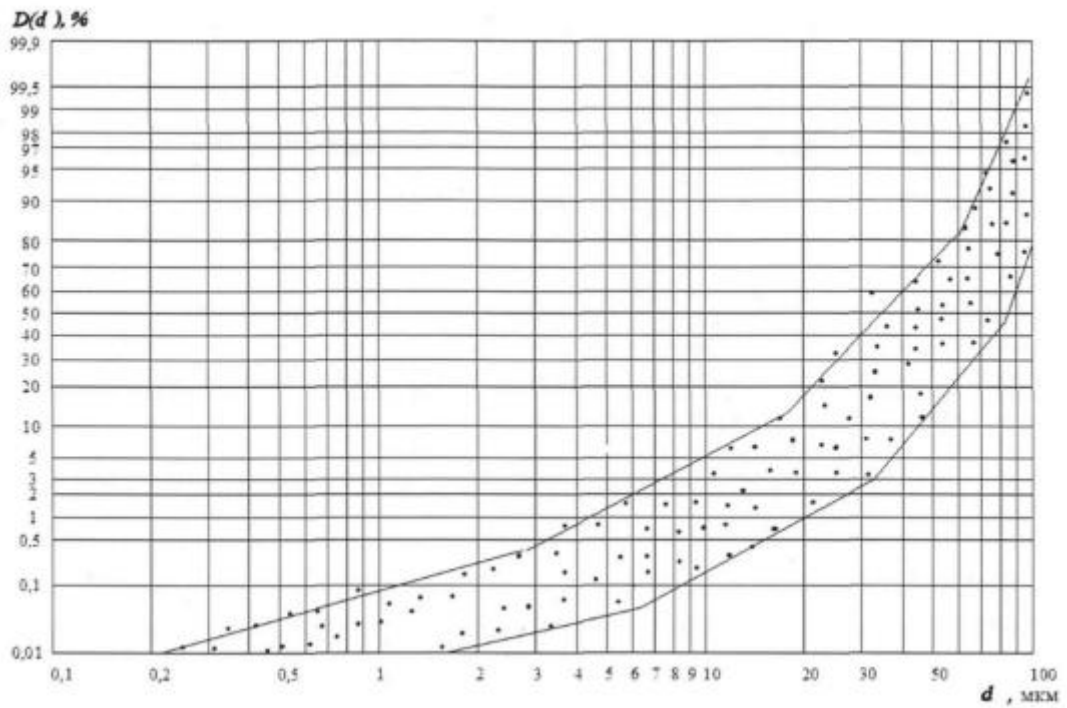


Рис. 2.5 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюються при вивантаженні відходів від кладки стін та монолітних робіт

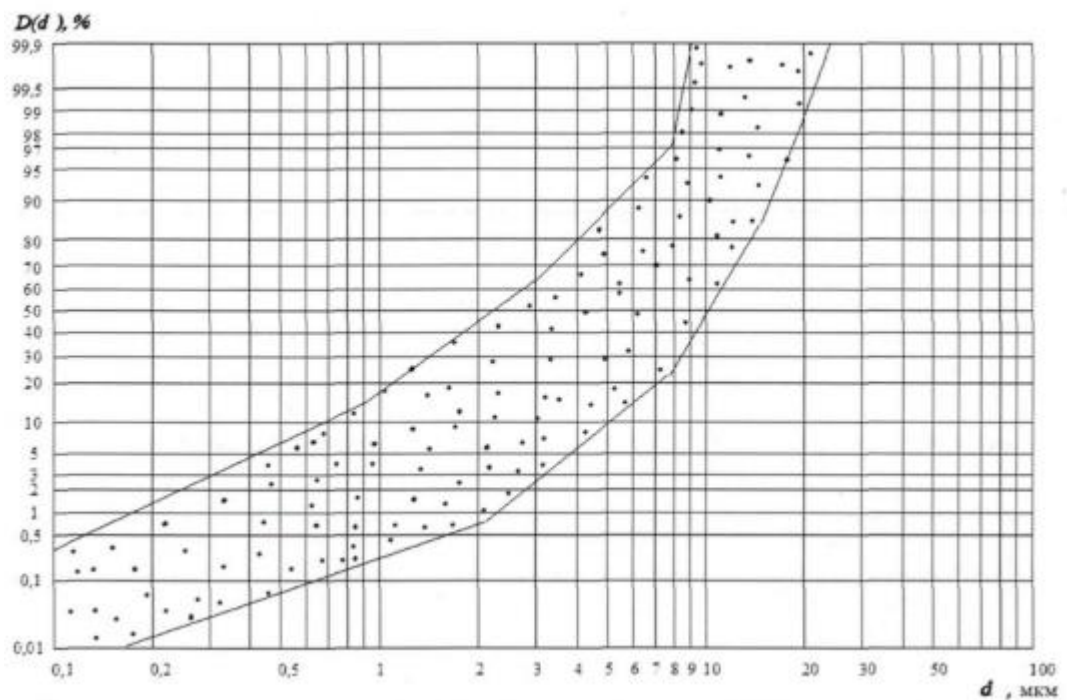


Рис. 2.6 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюються при розвантаженні відходів від мобільного виробництва будівельних матеріалів

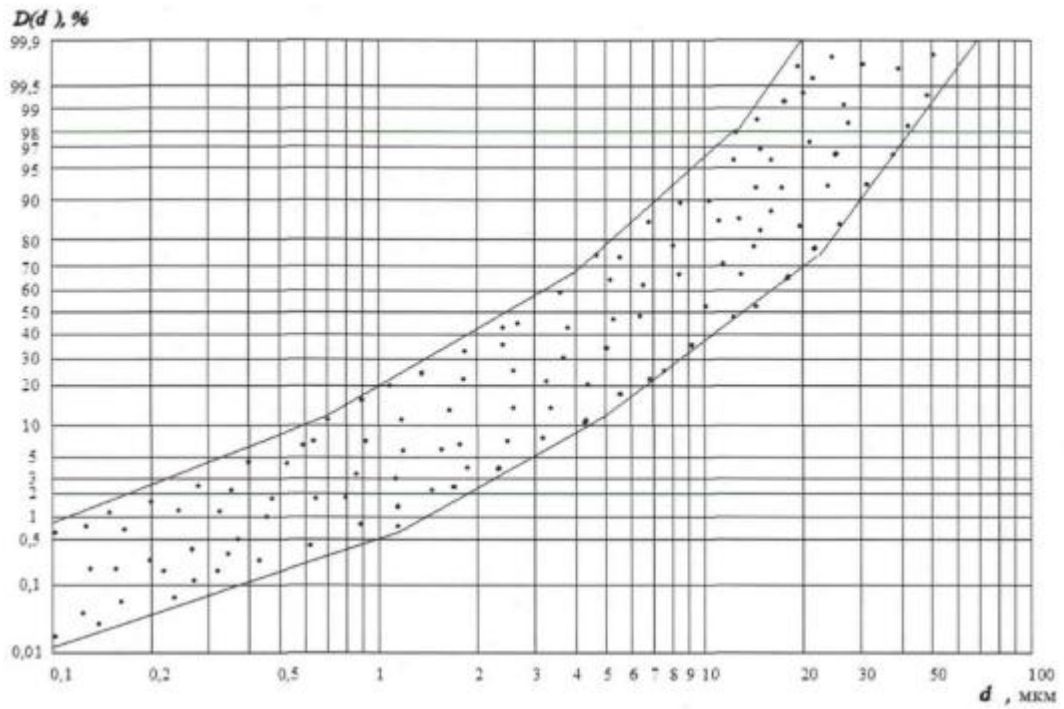


Рис. 2.7 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюються при вивантаженні відходів від оздоблювальних робіт

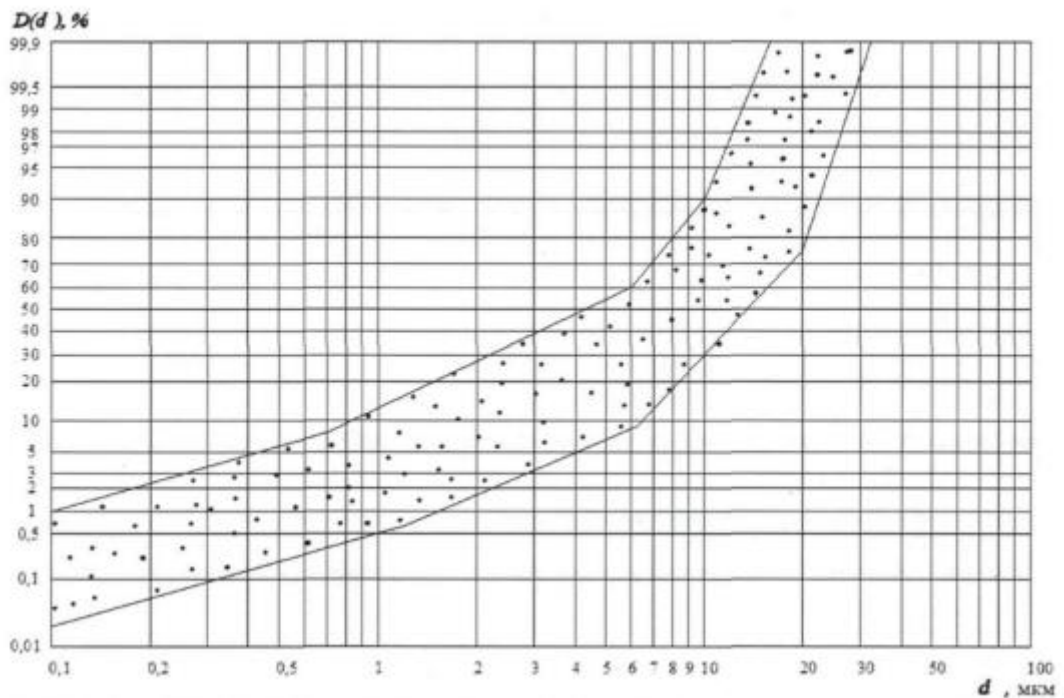


Рис. 2.8 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюються при формуванні проміжного ізолюючого шару з ґрунту

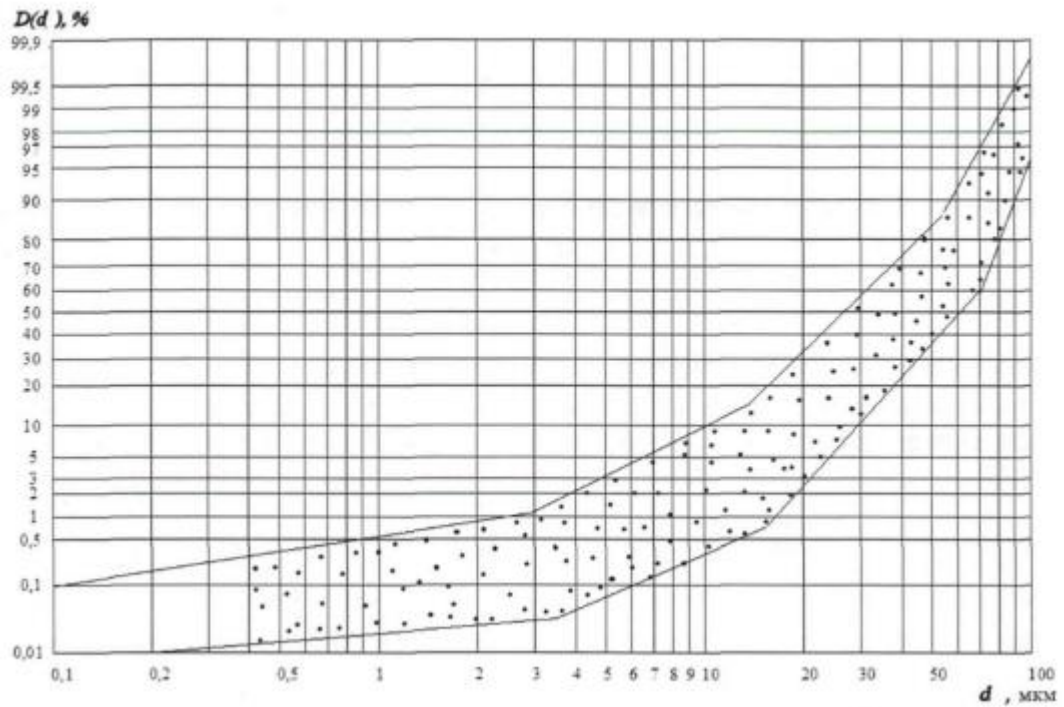


Рис. 2.9 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюються при формуванні проміжного ізолюючого шару з подрібнених будівельних відходів

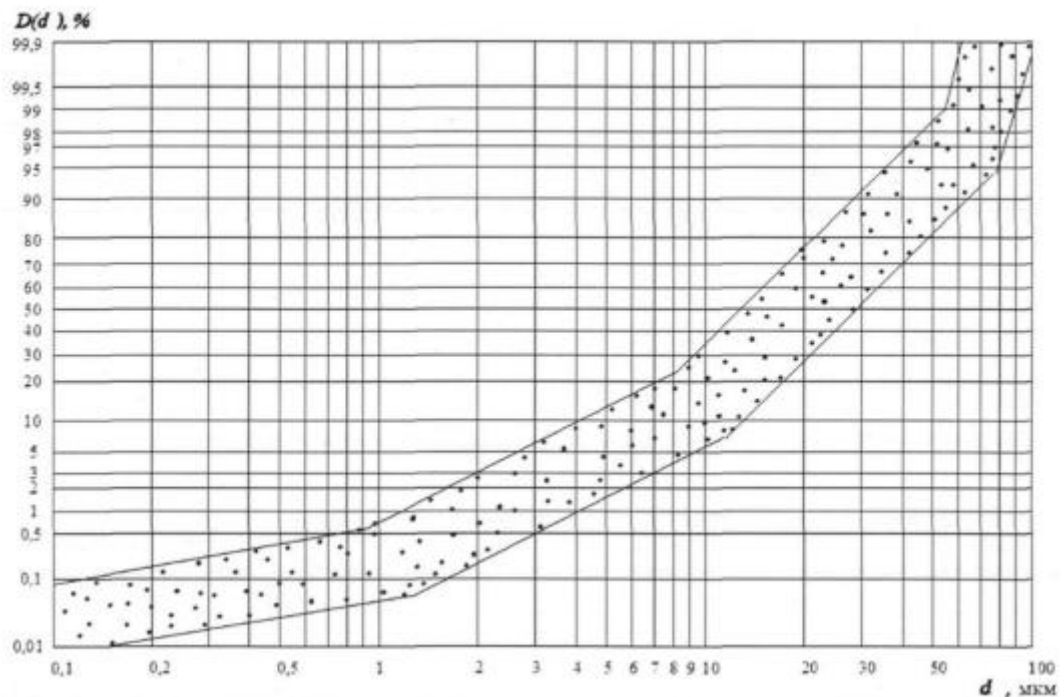


Рис. 2.10 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюються при ущільненні відходів

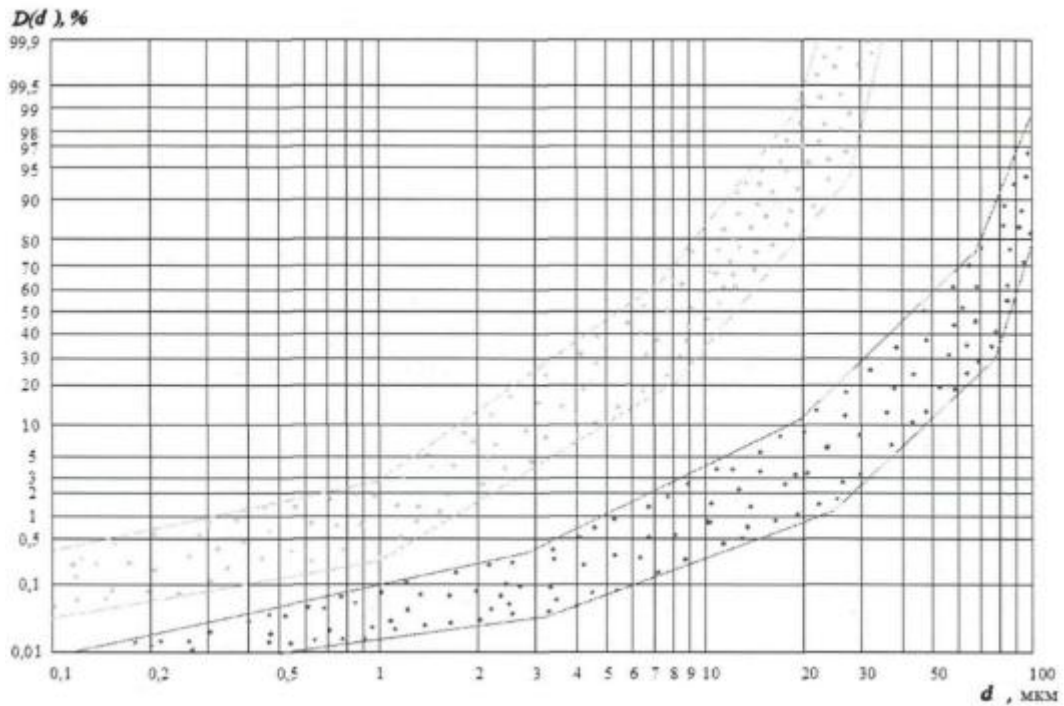


Рис. 2.11 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюються при зберіганні ґрунту та подрібнених будівельних відходів, призначених на формування проміжних ізолюючих шарів:
 1 – при швидкості вітру 2,7 м/с; 2 – при швидкості вітру понад 5,5 м/с

2.4 Математична обробка результатів дисперсійного аналізу

На рисунках 2.12–2.18 наведено середні результати оцінки пофракційного розподілу маси частинок пилу, що утворюється при різних процесах при розміщенні будівельних відходів на полігоні.

Дисперсна фаза аналізованого пилу різна за розмірами та формою, і може розглядатися як генеральна сукупність, в якій діаметр частинок є одновимірною випадковою величиною. При цьому основний розподіл маси частинок за діаметрами допускає такі перетворення координат, при яких функція розподілу конкретного пилу в новій сітці має лінійний вигляд. Наприклад, логарифмічно-нормальний розподіл зображується прямою на сітці, де по осі ординат відкладаються квантилі ймовірнісної функції від $D(d)$, по осі абсцис – логарифм від розміру частинок d .

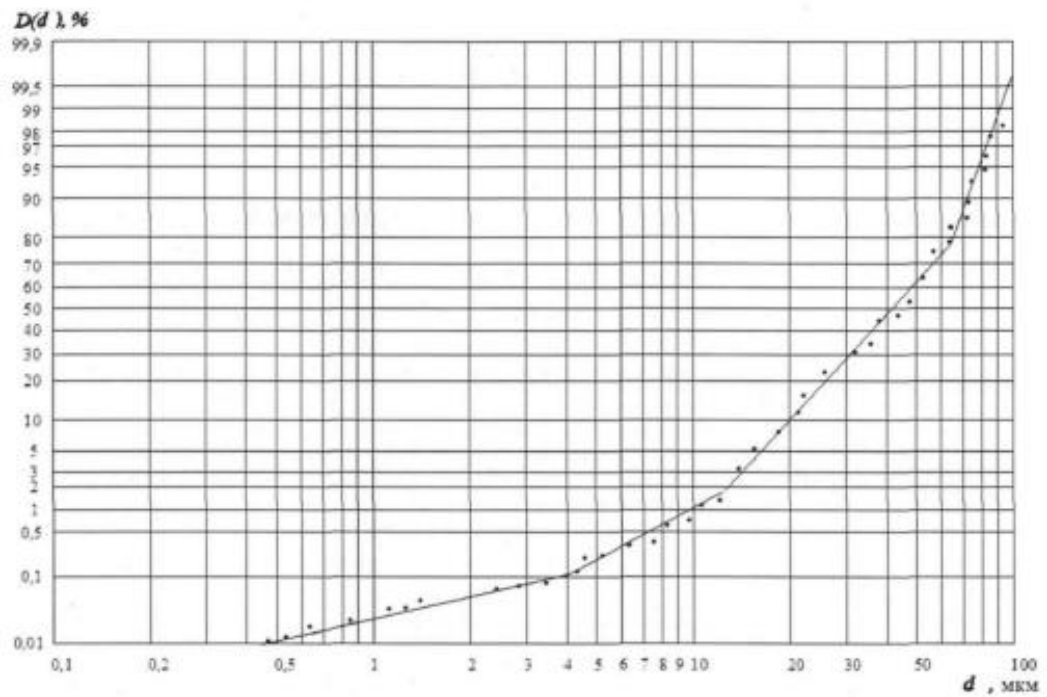


Рис. 2.12 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюється при вивантаженні відходів від кладки стін та монолітних робіт

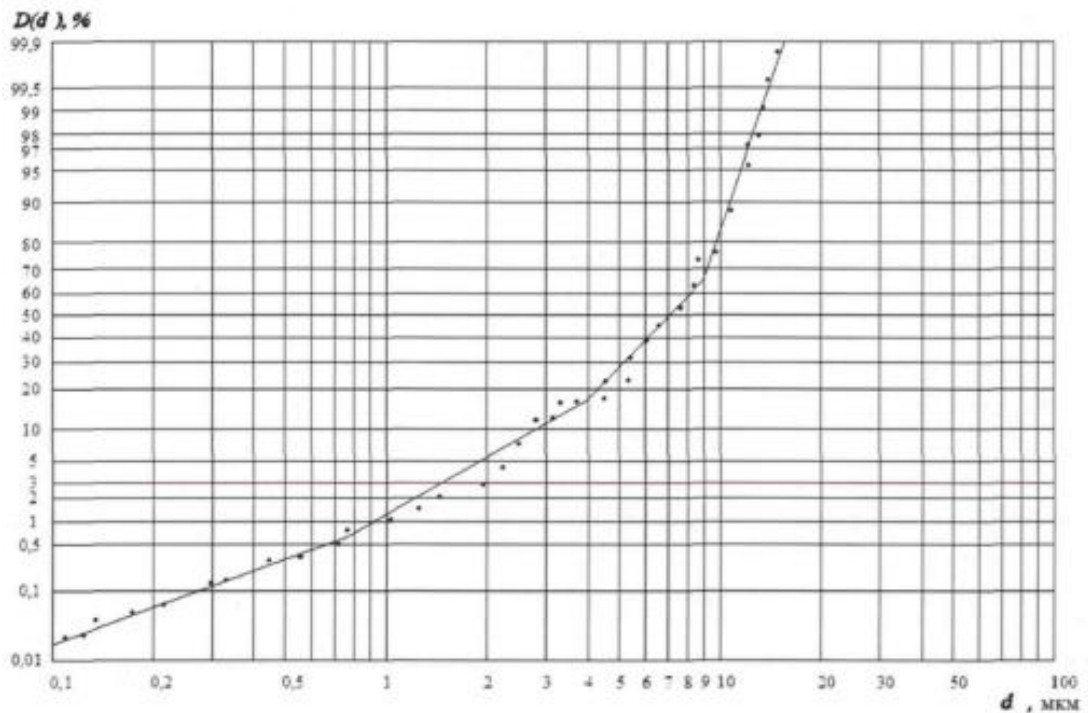


Рис. 2.13 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюється при розвантаженні відходів від мобільного виробництва будівельних матеріалів

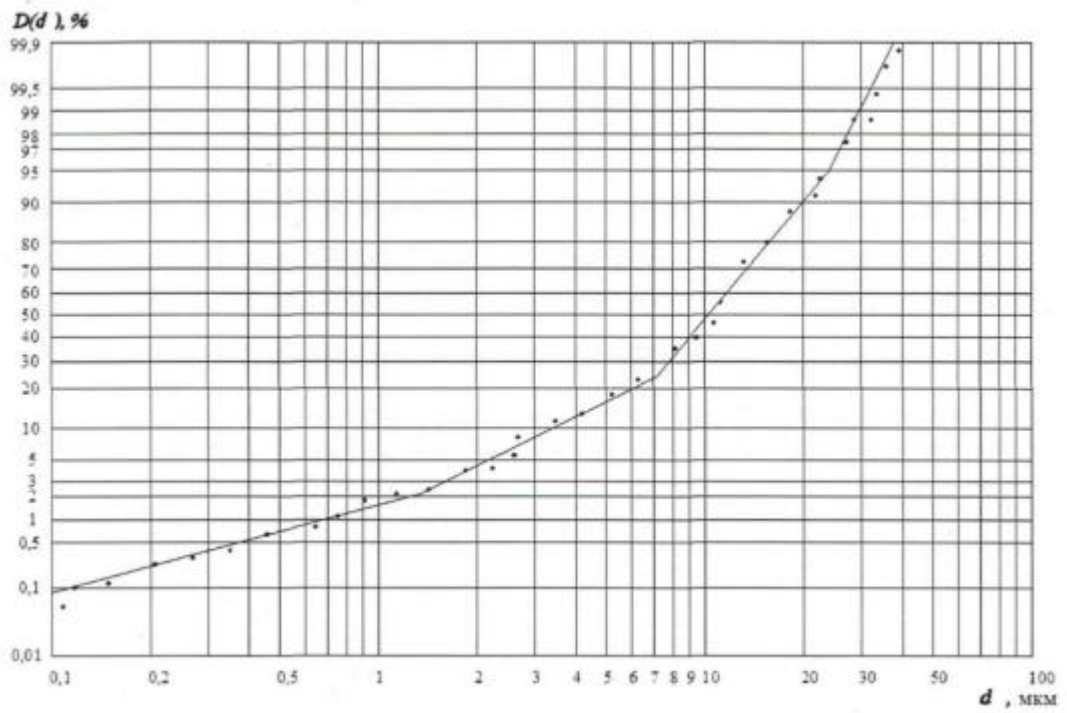


Рис. 2.14 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюється при вивантаженні відходів від оздоблювальних робіт

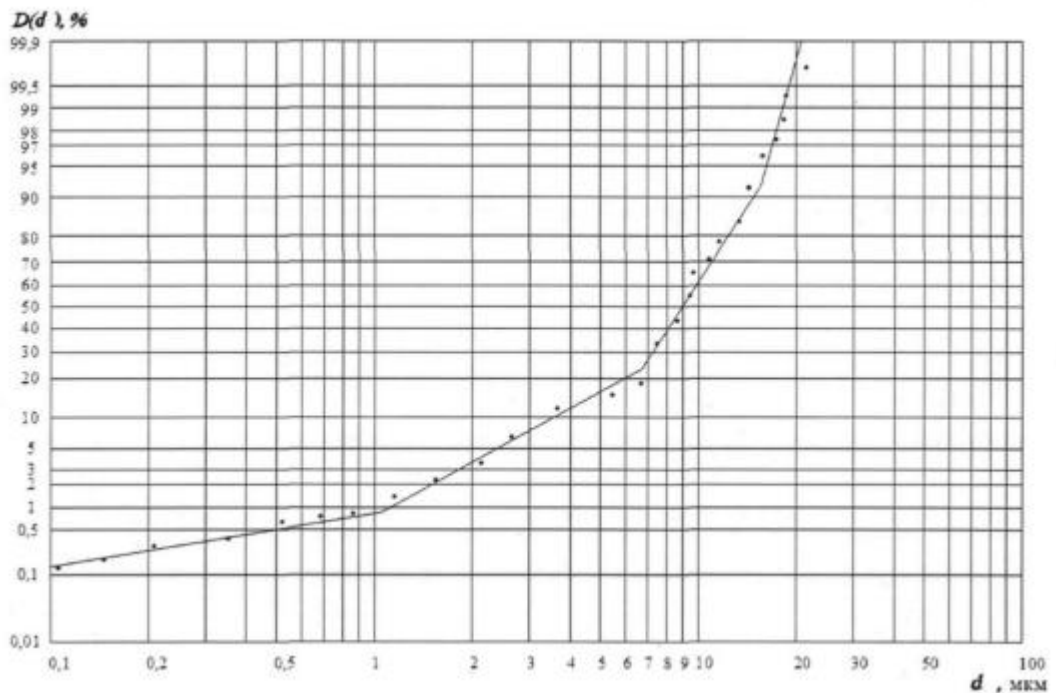


Рис. 2.15 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюється при формуванні проміжного ізолюючого шару з ґрунту

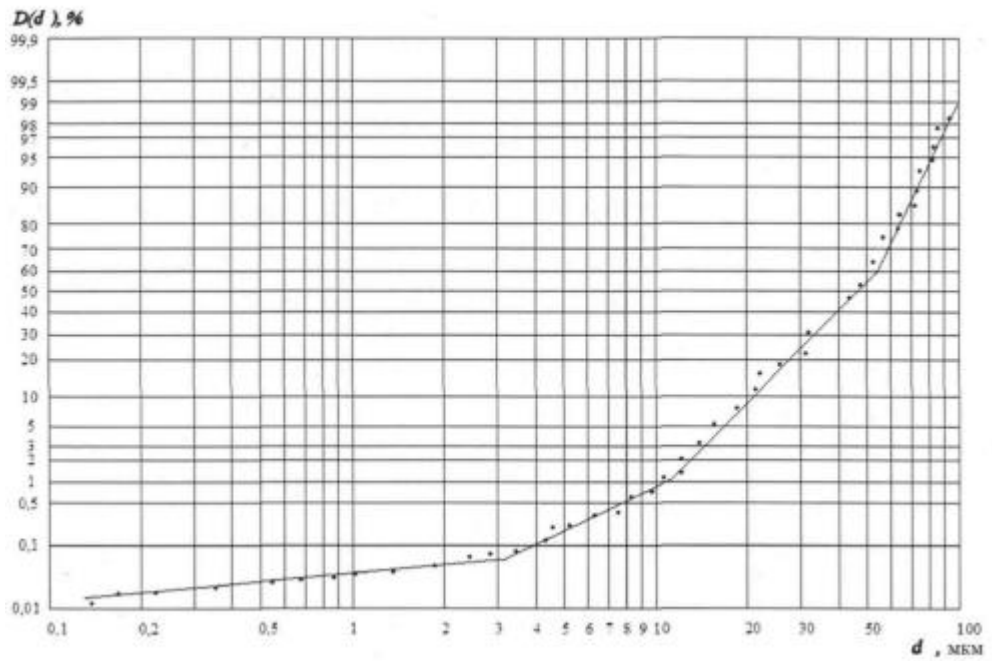


Рис. 2.16 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюється при формуванні проміжного ізолюючого шару з подрібнених будівельних відходів

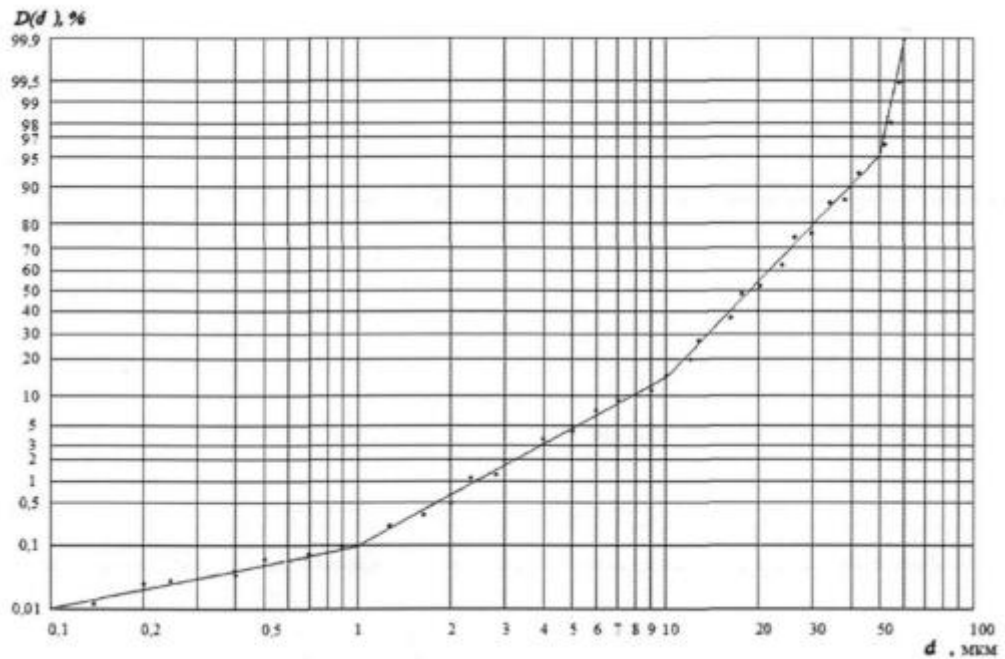


Рис. 2.17 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюється при ущільненні відходів у робочій карті

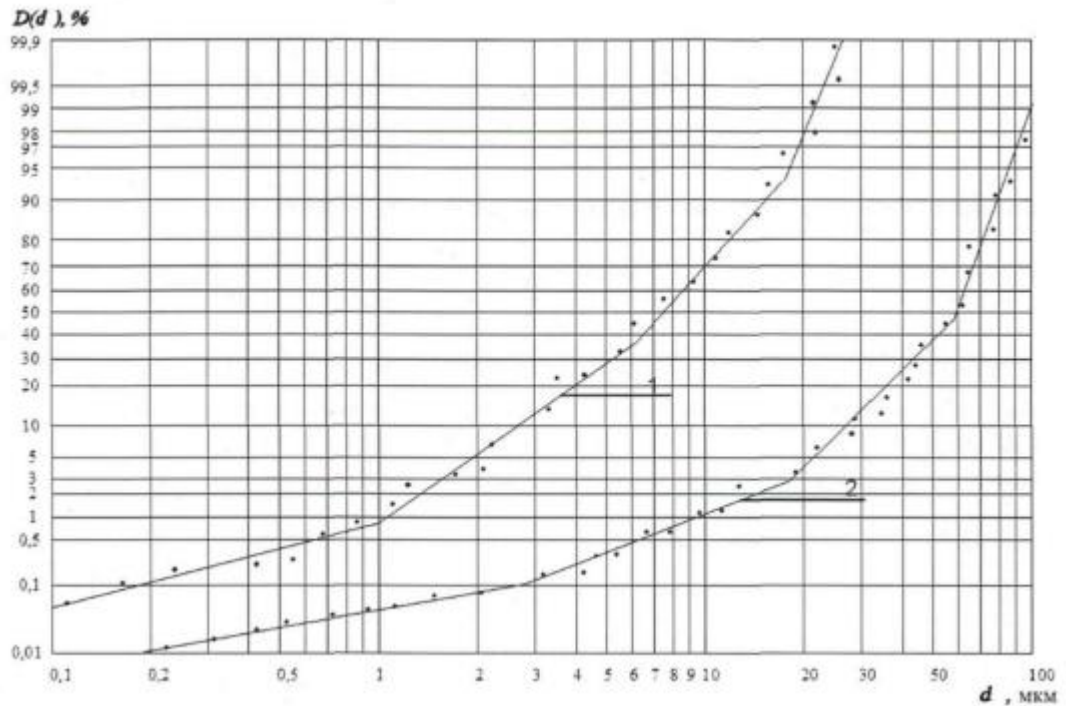


Рис. 2.18 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що утворюється при зберіганні ґрунту та подрібнених будівельних відходів, призначених для формування проміжних ізолюючих шарів:
1 – при швидкості вітру 2,7 м/с; 2 – при швидкості вітру понад 5,5 м/с

Інтегральна функція розподілу дисперсного складу для пилу будівельних відходів $D(d)$ з високим ступенем точності може бути описана безперервною ламаною лінією (рисунки 2.12–2.18). Розглянемо запропонований метод з використанням чотириланкового сплайну [46, 59].

Нехай $y(D)$ і $x(d)$ – безперервні функції перетворення координат (d, D) в (x, y) . У новій системі координат інтегральну криву, що складається з чотирьох ділянок ламаної, можна знайти методом найменших квадратів [59]. У нашому випадку $x = \lg d$, а D є інтегралом ймовірності від y

$$D = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-t^2/2} dt \quad (2.1)$$

Нехай, наприклад, y_1, \dots, y_N – значення інтегральної функції, отримані в результаті вимірів у точках x_1, \dots, x_N . Тоді

$$\begin{cases} y_i = y_0 + k_0 (x_i - a_0) + \varepsilon_i, \text{ якщо } x_i \leq a_0 \\ y_i = y_0 + k_1 (x_i - a_0) + \varepsilon_i, \text{ якщо } a_0 < x_i < a_1 \\ y_i = y_{(a_1)} + k_2 (x_i - a_1) + \varepsilon_i, \text{ якщо } a_1 < x_i < a_2 \\ y_i = y_{(a_2)} + k_3 (x_i - a_2) + \varepsilon_i, \text{ якщо } x_i \geq a_2 \end{cases} \quad (2.2)$$

де (a_i, y_i) – координати точок "зламу";

k_0, k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти нахилу ділянки прямих.

Дана ламана має бути обрана з умови мінімуму квадратичної форми

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 = \varepsilon^T \varepsilon$$

при зміні п'яти параметрів – y_0, k_0, k_1, k_2, k_3 . Цей мінімум можна шукати наступним чином (не фіксуючи межі ділянок): для кожного a_0 знайдемо величину

$$\min_{y_0, k_0, k_1, k_2, k_3} = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2$$

та відповідні значення y_0, k_0, k_1, k_2, k_3 , а потім знаходимо мінімум форми за a_i і відповідні їй мінімальні значення y_0, k_0, k_1, k_2, k_3 . У такий спосіб отримаємо шукану сплайн-функцію. Перший етап можна звести до завдання оптимального планування, якщо ввести такі позначення: $Y = (y_1, \dots, y_N)$ – вектор експериментальних значень інтегральної функції; T – символ транспонування; $\theta^T = (y_0, k_0, k_1, k_2, k_3)$ – вектор невідомих параметрів; $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_N)$ – вектор відхилень; F – матриця розміром $(N \times 5)$, де N – число значень інтегральної функції $D(x)$.

Якщо систему рівнянь (2.2) можна записати у вигляді наступного рівняння

$$Y = F(a_0) \theta + \varepsilon \quad (2.3)$$

то рішення даного матричного рівняння полягає у знаходженні вектору $\theta^T = (y_0, k_0, k_1, k_2, k_3)$ для кожного фіксованого набору "вузлових" точок (або точок "зламу").

2.5 Визначення швидкості осідання пилу під час розміщення будівельних відходів на полігоні

Для експериментальної оцінки швидкості осідання частинок досліджуваного пилу було застосовано метод повітряної седиментометрії [61]. Наважки відібраного на полігоні пилу з різною масою (дослід 1 – 2 г, дослід 2 – 5 г, дослід 3 – 8 г) розпорошувалися в розпилювальній камері седиментометра, що має висоту 4,5 м і розміри поперечного перерізу 0,07x0,1 м, таким чином, щоб хмарка пилу потрапляла у верхню частину приладу, де частинки пилу осідали на липку стрічку з різною швидкістю падіння в нерухомому повітрі під впливом сили тяжіння. Стрічка ривком переміщала на величину довжини поперечного перерізу седиментометра за проміжки часу рівні 1 с. Маса пилу, що осів на стрічці (рисунок 2.19) за кожний проміжок часу, зважувалася та заносилася до таблиці.

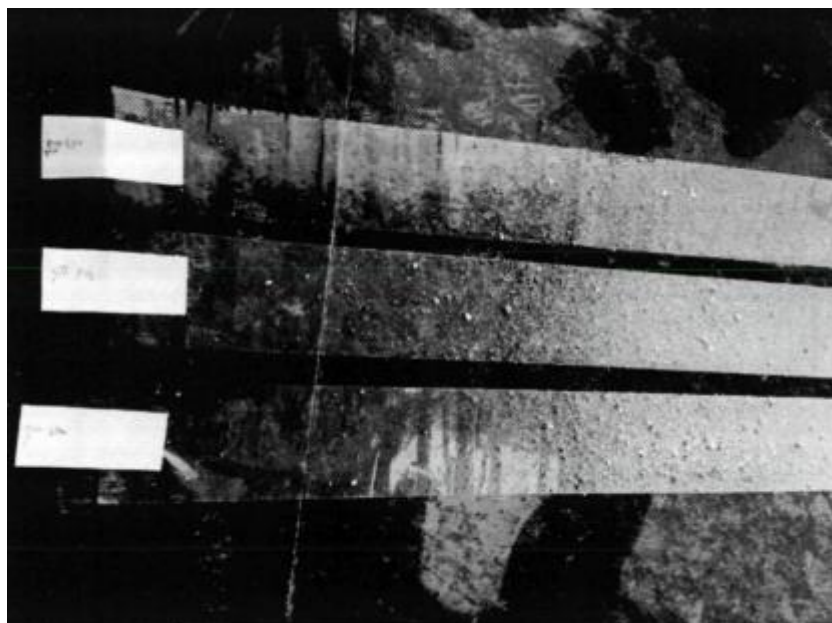


Рис. 2.19 – Фотографія частинок, що осіли на липку стрічку

Отримані результати наведено у таблиці 2.1.

Графічні залежності, що характеризують зміну частки (від початкової наважки) пилу, що осів, протягом часу – $\bar{M}_\tau = M_\tau / M_{\text{нав}} = f(\tau)$ – у вигляді гістограми представлені на рисунку 2.20 та у вигляді диференціальних та інтегральних кривих – на рисунку 2.21 та на рисунку 2.22 відповідно. На рисунку 2.23 показано розподіл маси осілого пилу, що утворюється при розміщенні відходів будівництва на полігоні, за швидкістю осідання.

Таблиця 2.1 - Результати експериментальної оцінки швидкості осідання частинок пилу, що утворюється при розміщенні відходів будівництва на полігоні

Час осідання, с	Швидкість осідання, м/с	Маса осілого пилу, г			Частка маси осілого пилу від початкової наважки, %			Частка від загальної маси осілого пилу, %		
		дослід 1	дослід 2	дослід 3	дослід 1	дослід 2	дослід 3	дослід 1	дослід 2	дослід 3
0-1	більше 4,5	0,05	0,176	0,17	2,5	3,52	2,13	3,09	4,03	2,44
1-2	2,25-4,5	0,62	1,306	2,138	31,0	26,12	26,73	38,27	29,89	30,63
2-3	1,5-2,25	0,44	1,82	3,793	22,0	36,4	47,41	27,16	41,65	54,34
3-4	1,125-1,5	0,17	0,459	0,569	8,5	9,18	7,11	10,49	10,5	8,15
4-5	0,9-1,125	0,09	0,196	0,190	4,5	3,92	2,38	5,56	4,49	2,72
5-6	0,75-0,9	0,07	0,166	0,069	3,5	3,32	0,86	4,32	3,8	0,99
6-7	0,642-0,75	0,06	0,091	0,000	3,0	1,82	0,00	3,70	2,08	0,00
7-8	0,562-0,642	0,03	0,076	0,034	1,5	1,52	0,43	1,85	1,74	0,49
8-9	0,5-0,562	0,03	0,045	0,000	1,5	0,9	0,00	1,85	1,03	0,00
9-10	0,45-0,5	0,06	0,030	0,017	3,0	0,6	0,21	3,70	0,69	0,24
Разом уловлено:		1,62	4,37	6,98	81,0	87,4	87,3	100	100	100

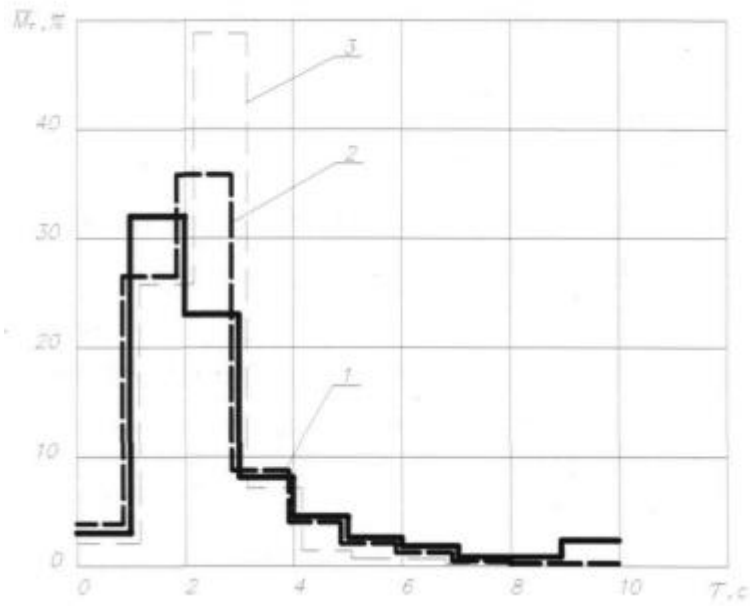


Рис. 2.20 – Гістограма, що характеризує зміну маси осілого пилу (у частках від маси початкової наважки), що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні, залежно від часу при:

1 – $M_{\text{нав}} = 2$ г; 2 – $M_{\text{нав}} = 5$ г; 3 – $M_{\text{нав}} = 8$ г

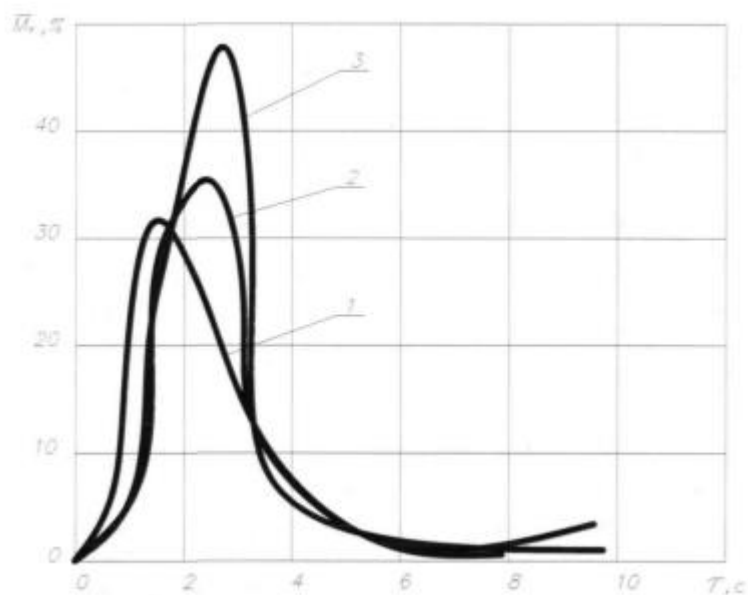


Рис. 2.21 – Диференціальні криві зміни маси осілого пилу (в частках від маси початкової наважки), що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні, залежності від часу при:

1 – $M_{\text{нав}} = 2$ г; 2 – $M_{\text{нав}} = 5$ г; 3 – $M_{\text{нав}} = 8$ г

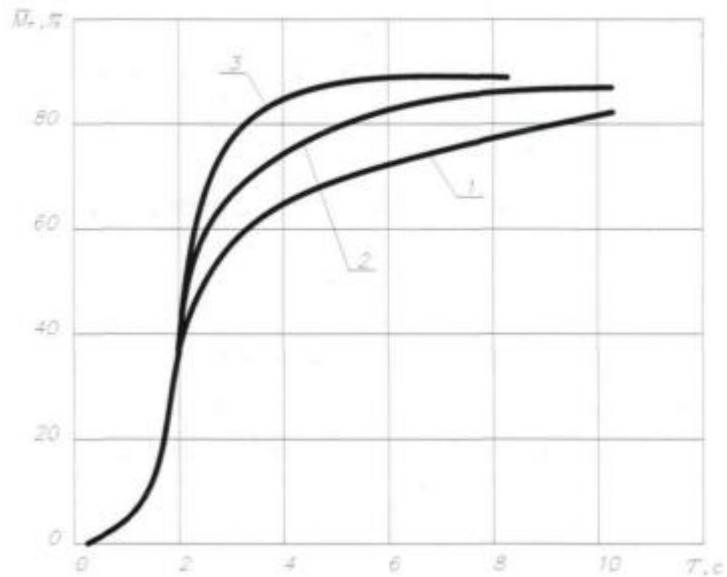


Рис. 2.22 – Інтегральні криві зміни маси осілого пилу (в частках від маси початкової наважки), що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні, залежно від часу при:

1 – $M_{\text{нав}} = 2$ г; 2 – $M_{\text{нав}} = 5$ г; 3 – $M_{\text{нав}} = 8$ г

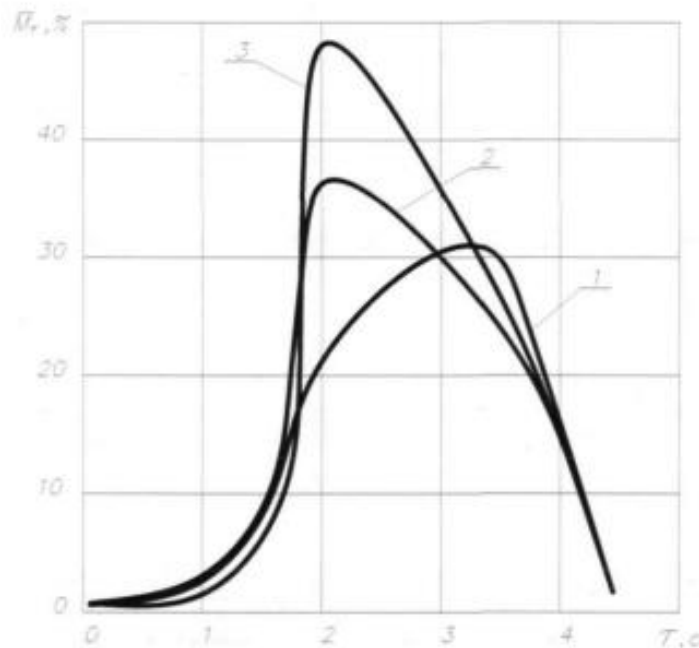


Рис. 2.23 – Зміна маси осілого пилу (у частках від початкової маси наважки), що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні, залежно від швидкості осідання при:

1 – $M_{\text{нав}} = 2$ г; 2 – $M_{\text{нав}} = 5$ г; 3 – $M_{\text{нав}} = 8$ г

Аналогічні залежності для $M_0 = M_{0\tau} / M_0 = f(\tau)$ (де M_0 – частка від маси осілого пилу) представлені на рисунках 2.24–2.27.

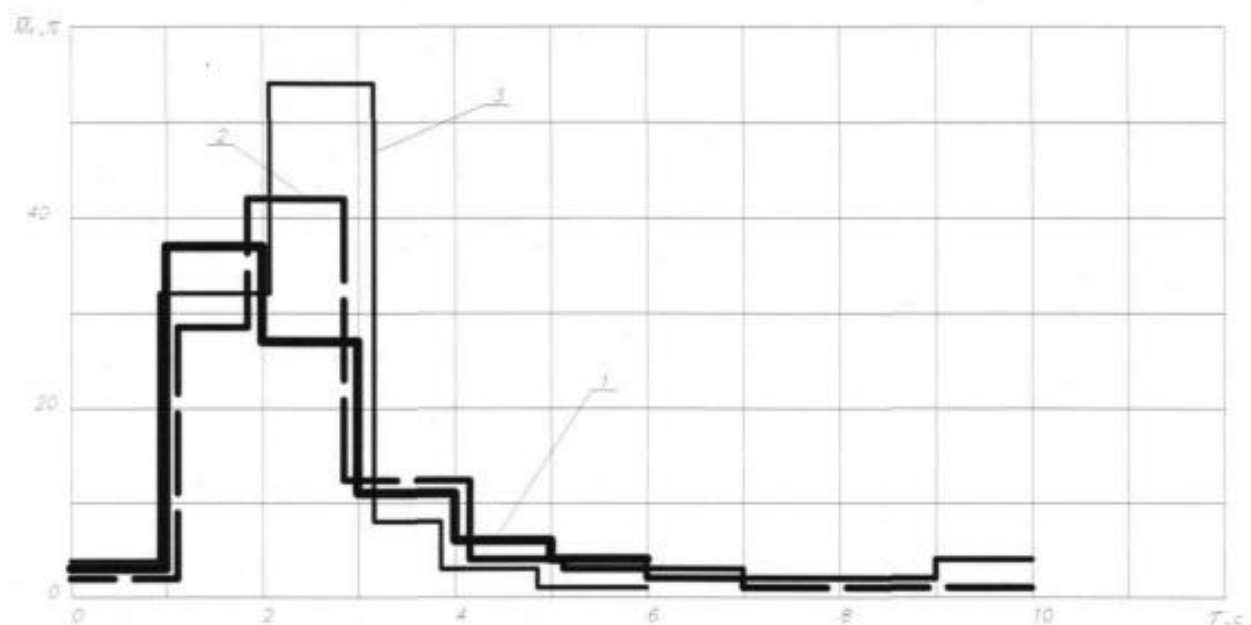


Рис. 2.24 – Гістограма, що характеризує зміну маси осілого пилу (у частках від загальної маси осілого пилу), що утворюється при розміщені будівельних відходів на полігоні, залежно від часу при:

$$1 - M_{\text{нав}} = 2 \text{ г}; 2 - M_{\text{нав}} = 5 \text{ г}; 3 - M_{\text{нав}} = 8 \text{ г}$$

Отримані дані свідчать про те, що в перші 4 с осаджуються частинки, загальна маса яких становить 50–75 % від початкової маси наважки або 55–85 % від загальної маси осілого пилу. При цьому швидкість осідання таких частинок змінюється від 15 до 45 м/с.

Разом з тим, пилові частинки, загальна маса яких складає в середньому до 15 % від початкової маси наважки залишаються у зваженому стані у нерухомому повітрі.

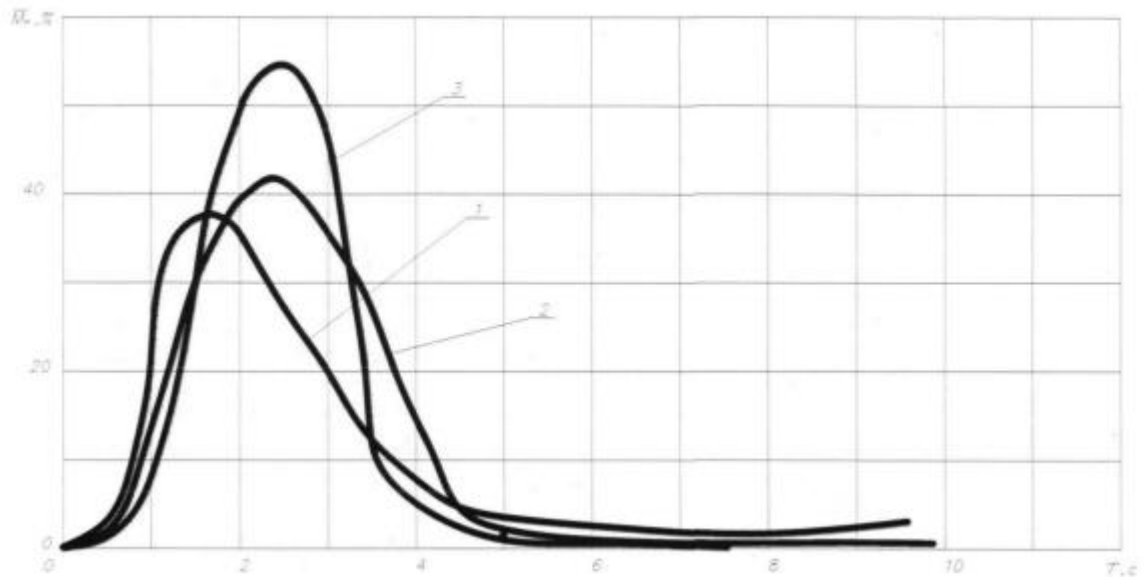


Рис. 2.25 – Диференціальні криві зміни маси осілого пилу (у частках від загальної маси осілого пилу), що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні, залежно від часу при:

1 – $M_{\text{наб}} = 2 \text{ г}$; 2 – $M_{\text{наб}} = 5 \text{ г}$; 3 – $M_{\text{наб}} = 8 \text{ г}$

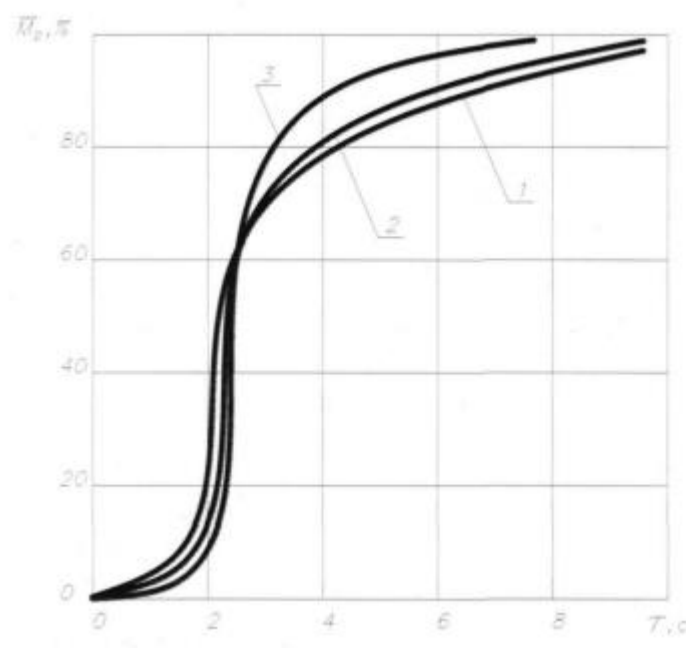


Рис. 2.26 – Інтегральні криві зміни маси осілого пилу (у частках від загальної маси осілого пилу), що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні, залежно від часу при:

1 – $M_{\text{наб}} = 2 \text{ г}$; 2 – $M_{\text{наб}} = 5 \text{ г}$; 3 – $M_{\text{наб}} = 8 \text{ г}$

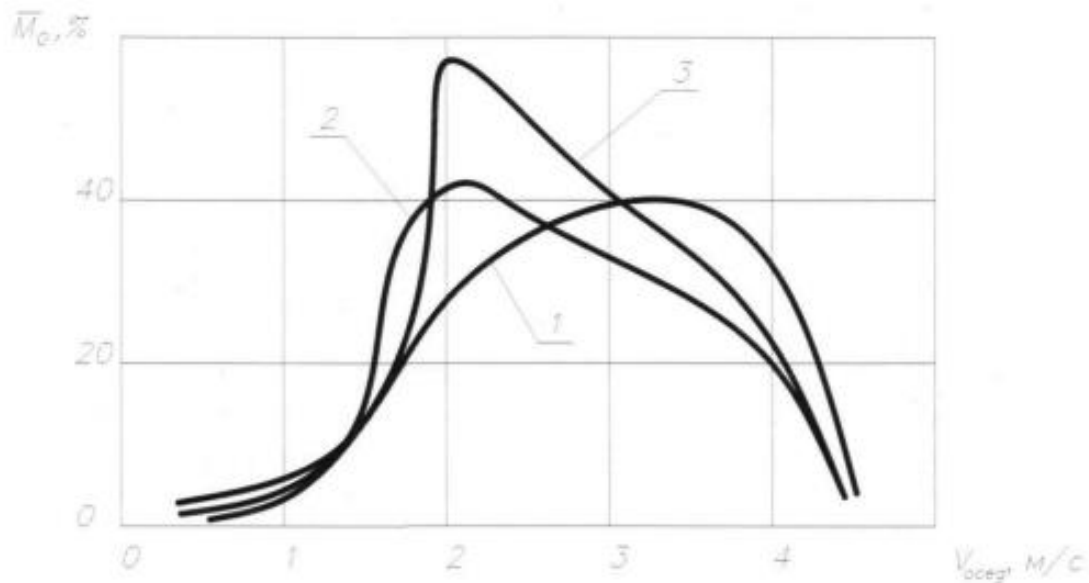


Рис. 2.27 – Зміна маси пилу, що осів (у частках від загальної маси осілого пилу), що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні, залежно від швидкості осідання при:

$$1 - M_n = 2 \text{ г}; 2 - M_n = 5 \text{ г}; 3 - M_n = 8 \text{ г}$$

2.6 Висновки до другого розділу

1. За результатами натурних досліджень отримано дані про дисперсний складі пилу, що утворюється під час проведення різних операцій, пов'язаних із розміщенням на полігоні будівельних відходів різного типу.

2. Показано, що для математичної обробки результатів дисперсійного аналізу пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні, доцільне застосування апроксимації чотириланковим сплайном.

3. Експериментально встановлено, що частинки, загальна маса яких складає 50–75 % від початкової маси наважки або 55 – 85 % від загальної маси осілого пилу, осідають протягом 4 с зі швидкістю 1,5 – 4,5 м/с. Частинки пилу будівельних відходів, загальна маса яких становить у середньому до 15 % від початкової маси наважки, залишаються у зваженому стані в нерухомому повітрі.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА РІШЕНЬ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ ЗАПАЛИНОСТІ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ РОЗМІЩЕННІ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ НА ПОЛІГОНІ

3.1 Визначення концентрацій частинок PM_{10} та $PM_{2,5}$ для викидів пилу, що утворюється при розміщенні будівельних відходів на полігоні

Як відомо, найбільшу небезпеку для навколишнього природного середовища та здоров'я людини представляють пилові частинки з малими розмірами, які довгий час знаходяться в атмосферному повітрі та переносяться на великі відстані. Саме тому у зарубіжній практиці і в Україні (із введенням у дію «Державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць» від 24.05.2024 р.), нормуванню підлягають концентрації частинок пилу з розмірами менше 10 мкм (PM_{10}) та з розмірами менше 2,5 мкм ($PM_{2,5}$), максимально разове значення яких складає $0,3 \text{ мг/м}^3$ та $0,16 \text{ мг/м}^3$ відповідно [10, 26, 27].

Розрахувати концентрацію дрібнодисперсного пилу, наприклад, у викидах до атмосфери від джерел забруднення, у точці проведення моніторингу, можна за виразами [10, 11, 78]:

$$C_{PM_{10}} = C_0 D(10 \text{ мкм}) \quad (3.1)$$

$$C_{PM_{2,5}} = C_0 D(2,5 \text{ мкм}) \quad (3.2)$$

де C_0 – загальна концентрація пилу;

$D(10 \text{ мкм})$ – масова частка частинок розміром не більше 10 мкм;

$D(2,5 \text{ мкм})$ – масова частка частинок розміром не більше 2,5 мкм.

На основі такого підходу були визначені концентрації $C_{PM_{10}}$ та $C_{PM_{2,5}}$ у викидах до атмосфери від джерел полігону ТПВ при здійсненні різних операцій з розміщення будівельних відходів на полігоні, розглянутих у розділі 2. Результати розрахунків наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Концентрація частинок пилу PM₁₀ та PM_{2,5}

Вид робіт	Вид пилу	Загальна концентрація пилу C ₀ , мг/м ³	Вміст частинок PM ₁₀		Вміст частинок PM _{2,5}	
			D(d _y =10 мкм), %	концентрація C ₁₀ , мг/м ³	D(d _y =2,5 мкм), %	концентрація C _{2,5} , мг/м ³
1	2	3	4	5	6	7
1. Розвантаження відходів на полігоні	від відходів будівельно-монтажних робіт	244000	1	2440	0,09	219,6
	від відходів виробництва будівельних матеріалів	236000	80	188800	8	18880
	від відходів оздоблювальних робіт	215000	50	107500	7	15050
2. Формування проміжного ізоляційного шару	грунт	14,68	60	8,81	5	0,734
	подрібнені будівельні відходи	14,88	0,9	0,134	0,08	0,012
3. Ущільнення відходів бульдозером	суміш	9,04	15	1,356	1	0,09

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7
4. Зберігання відходів у слабо вітряну погоду	суміш	70000	70	49000	8	5600
5. Зберігання відходів у вітряну погоду	суміш	184000	1	1840	0,1	184

Слід зазначити, що відсотковий вміст частинок умовний, так як функція $D(d)$ є випадковою і для опису необхідно розрахувати її характеристики. Побудуємо функцію щільності ймовірності частки PM_{10} та $PM_{2,5}$ для деяких зразків пилу, що утворюється під час експлуатації полігонів ТПВ (рисунок 3.1, рисунок 3.2).

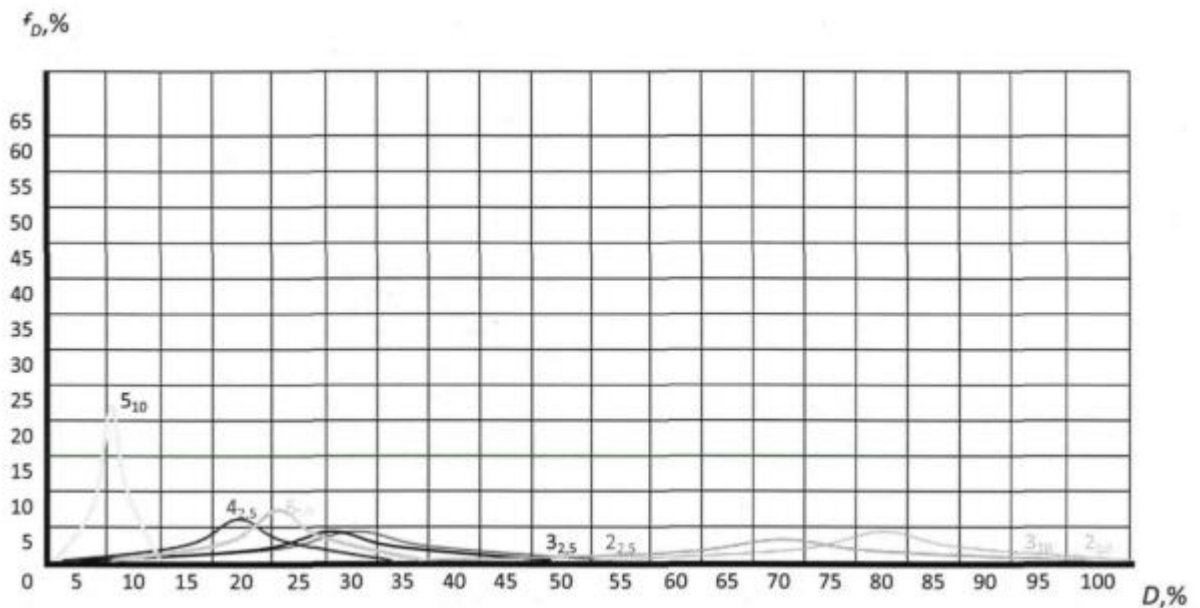


Рис. 3.1 – Функція щільності ймовірності частки PM_{10} та $PM_{2,5}$ для різних типів і форм походження пилу, що утворюється на полігоні ТПВ та будівельних відходів:

- $2_{2,5}$, 2_{10} – при розвантаженні відходів мобільного виробництва будівельних матеріалів для частинок $PM_{2,5}$ та PM_{10} відповідно;
- $3_{2,5}$, 3_{10} – при вивантаженні відходів від оздоблювальних робіт для частинок $PM_{2,5}$ та PM_{10} відповідно; $4_{2,5}$ – при формуванні ізолюючого шару з ґрунту для частинок $PM_{2,5}$; 5_{10} – при формуванні ізолюючого шару із подрібнених будівельних відходів для частинок PM_{10} ; 6_{10} – при ущільненні відходів для частинок PM_{10}

Таким чином, визначення дисперсного складу дозволило оцінити не лише відносний вміст фракцій у відібраних пробах досліджуваного пилу, а й

провести оцінку частки вмісту найбільш небезпечних і єдиних нормованих на сьогодні частинок PM_{10} і $PM_{2,5}$.

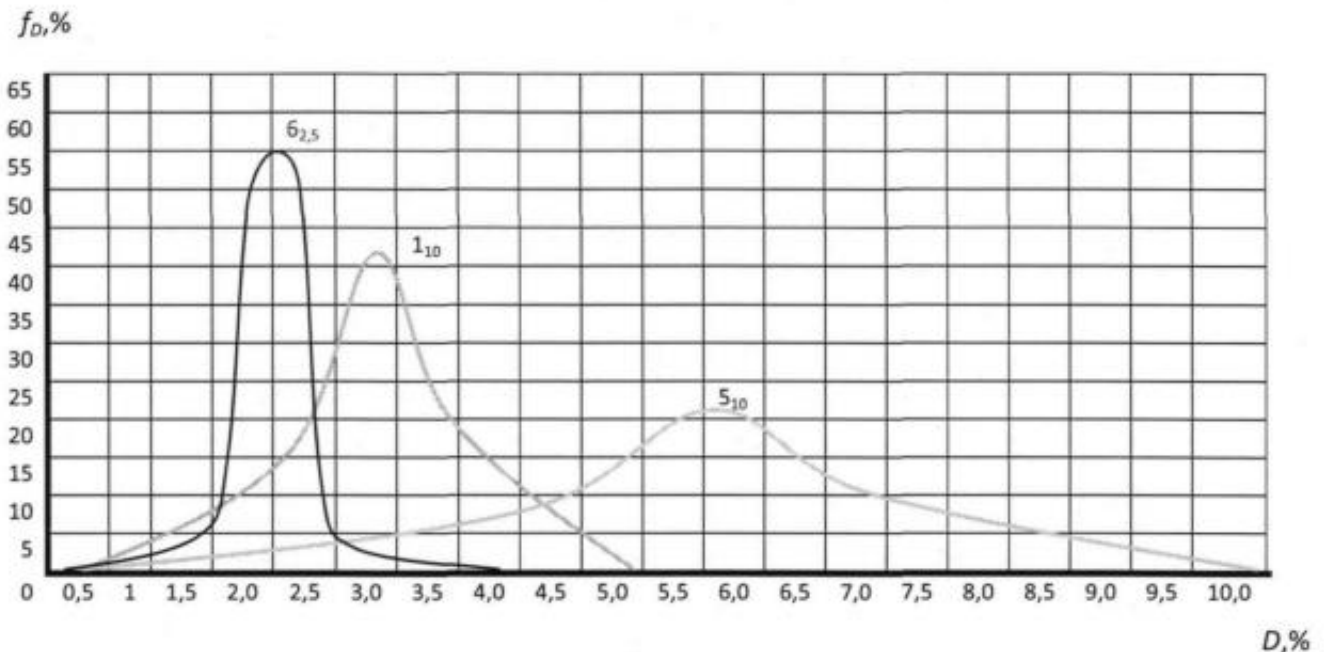


Рис. 3.2 – Функція щільності ймовірності частки PM_{10} та $PM_{2,5}$ для різних типів і форм походження пилу, що утворюється на полігоні ТПВ та будівельних відходів: 1_{10} – при розвантаженні відходів будівельно-монтажних робіт для частинок PM_{10} ; 5_{10} – при формуванні ізолюючого шару з подрібнених будівельних відходів для часток PM_{10} ; $6_{2,5}$ – при ущільненні відходів для частинок $PM_{2,5}$

3.2 Розробка інженерно-технічних рішень для зниження викидів пилу в атмосферу при дробленні будівельних відходів на полігоні

Одним із джерел пилового забруднення навколишнього середовища на полігонах для поховання відходів є дробарки, в яких відбувається подрібнення відходів будівництва для подальшого їх використання при формуванні на робочій карті проміжних ізолюючих шарів.

На рисунку 3.3 наведено отримані в умовах полігону дані про дисперсний склад пилу, що виділяється в атмосферу при дробленні будівельних відходів.

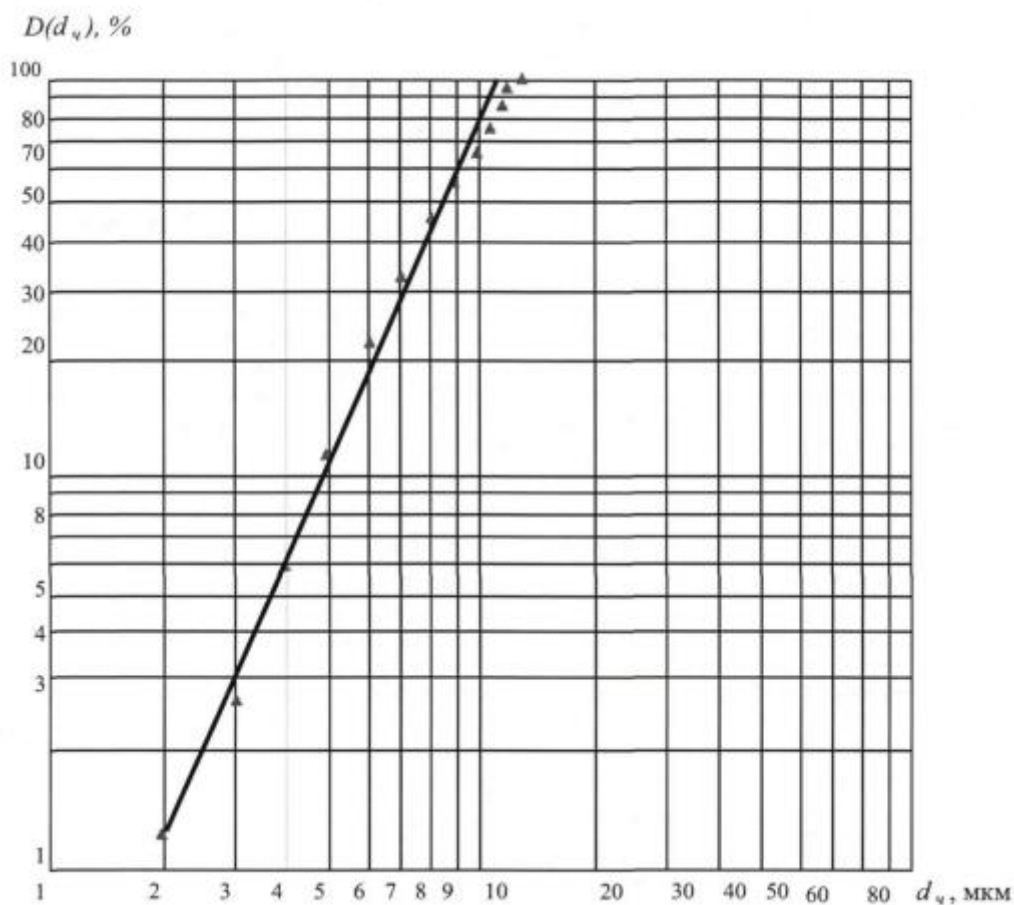


Рис. 3.3 – Пофракційний розподіл маси частинок пилу, що надходить до атмосфери при дробленні будівельних відходів

Для подрібнення відходів будівництва застосовуються щоківі та роторні дробильні установки [24, 38]. Перші застосовуються для більш крупного подрібнення матеріалу (великі шматки) та, на відміну від других, не мають системи пилоподавлення. У роторних дробарках для запобігання викидів в атмосферу використовується система водяного придушення пилу з утворенням водяного туману. Однак у цьому випадку виникає проблема ретельного очищення води та потрібна висока культура експлуатації агрегату.

Тому для зниження пилових викидів від цього джерела була розроблена схема компонування знепилюючої установки, яка представлена на рисунку 3.4.

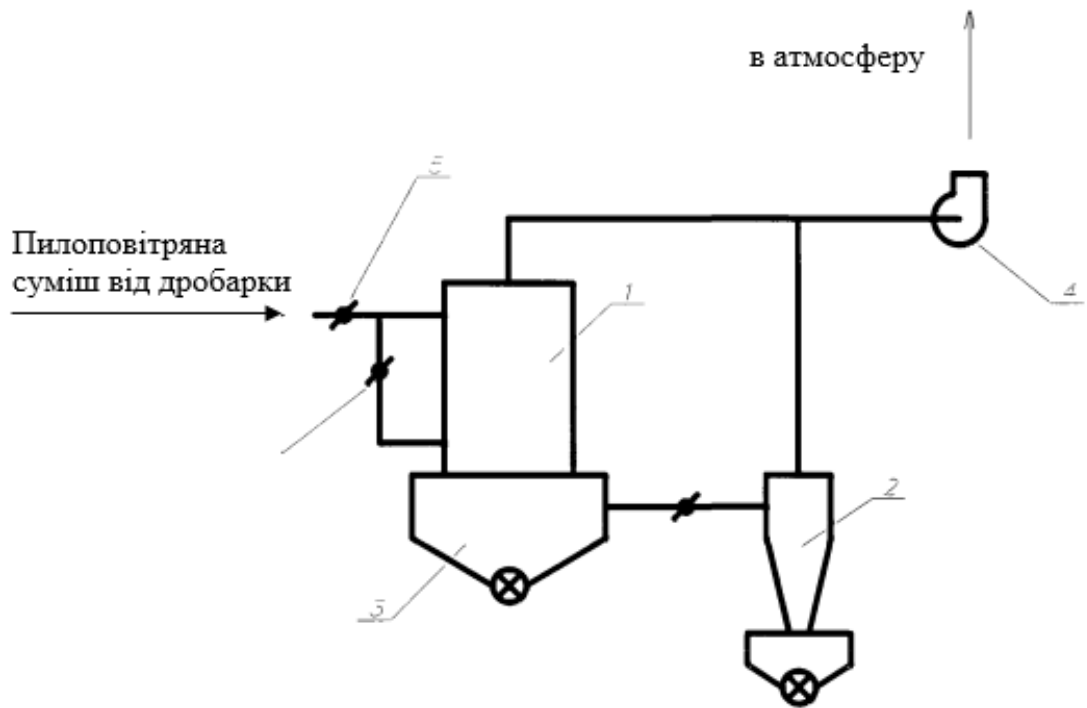


Рис. 3.4 – Схема компонування системи знепилювання для обслуговування дробарки: 1 – пиловловлювач ВЗП-800; 2 – циклон ЦН-15-400; 3 – бункер; 4 – вентилятор; 5 – шибер

Основними елементами установки є вихровий інерційний пиловловлювач ВЗП з діаметром 800 мм з відсмоктуванням з бункерної зони та циклон ЦН-15 із діаметром 400 мм. Організація відсмоктування з бункера апарату ВЗП дозволяє підвищити його ефективність та знизити аеродинамічний опір [28, 29].

Для теоретичної оцінки ефективності запропонованої установки знепилювання відповідно до розрахункової схеми, показаної на рисунку 3.5 складемо систему балансових рівнянь пилових потоків.

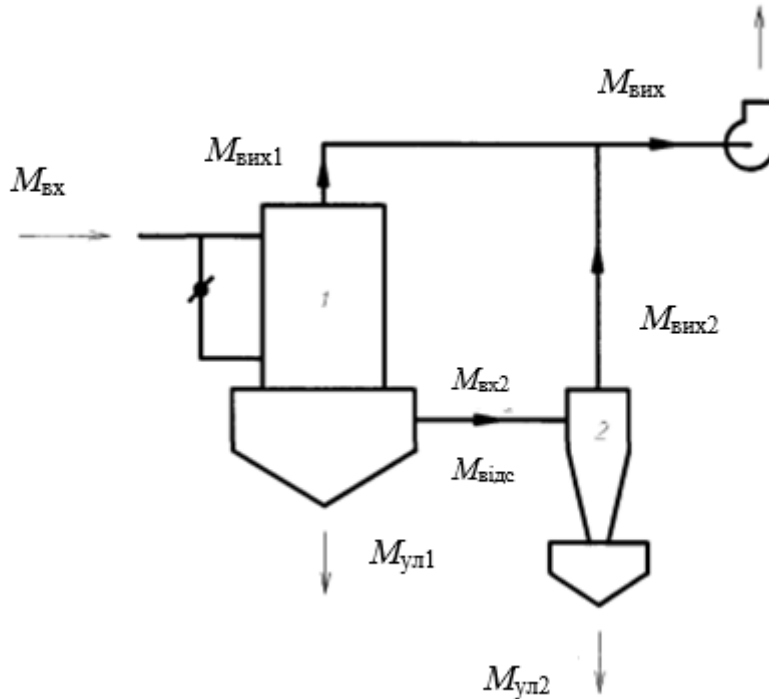


Рис. 3.5 – Розрахункова схема установки знепилювання

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{\text{вих1}} = M_{\text{вх}} - M_{\text{ул1}} - M_{\text{відс}} ; \\ M_{\text{вих1}} = \varepsilon_1 M_{\text{вх}} ; \\ M_{\text{вих2}} = M_{\text{вх2}} - M_{\text{ул2}} ; \\ M_{\text{вих2}} = \varepsilon_2 M_{\text{вх2}} \end{array} \right. \quad (3.3)$$

де $M_{\text{вх}}$, $M_{\text{вх2}}$ – маса пилю на вході в пиловловлювач ВЗП та в циклон відповідно, г/год;

$M_{\text{ул1}}$, $M_{\text{ул2}}$ – маса пилю, уловленого в пиловловлювачі ВЗП і в циклоні відповідно, г/год;

$M_{\text{вих1}}$, $M_{\text{вих2}}$ – маса пилю на виході з пиловловлювача ВЗП та з циклону відповідно, г/год;

$M_{\text{відс}}$ – маса пилю в об'ємі пилоповітряної суміші, що відсмоктується з бункера апарату ВЗП, г/год.

$$M_{\text{вх}2} = M_{\text{відс}} = KM_{\text{вх}} \quad (3.4)$$

де K – коефіцієнт, що характеризує частку, яку становить витрата пилоповітряної суміші, що відсмоктується з бункера апарату ВЗП, від об'єму запиленого повітря, що надходить до установки. Відповідно до визначення коефіцієнт проскоку для системи складе

$$\varepsilon_1 = M_{\text{вих}} / M_{\text{вх}}$$

В свою чергу

$$M_{\text{вих}} = M_{\text{вих}1} + M_{\text{вих}2} = \varepsilon_1 M_{\text{вх}} + \varepsilon_2 M_{\text{вх}2} = \varepsilon_1 M_{\text{вх}} + K\varepsilon_2 M_{\text{вх}} = M_{\text{вх}}(\varepsilon_1 + K\varepsilon_2) \quad (3.5)$$

Тоді

$$\varepsilon_{\text{сист}} = \varepsilon_1 + K\varepsilon_2 \quad (3.6)$$

Для експериментальної оцінки ефективності та аеродинамічного опору запропонованої установки знепилення були проведені дослідно-промислові дослідження на полігоні «Дальницькі кар'єри». На даному полігоні проводиться захоронення твердих побутових та промислових відходів IV та V класів небезпеки. Полігон «Дальницькі кар'єри» розташований на території Овідіопольського та Біляївського районів Одеської області.

Під час проведення експериментальних досліджень були прийняті такі : визначальні фактори:

- продуктивність установки, віднесена до $1 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1 \text{ м}^3/\text{год}$) – L_0 ;
- коефіцієнт, що характеризує частку, яку складає витрата пилоповітряної суміші, що відсмоктується з бункера апарату ВЗП, від об'єму запиленого повітря, що поступає до установки - K ;

функції відгуку:

- коефіцієнт проскоку системи - $\varepsilon_{\text{сист}}$;
- коефіцієнт аеродинамічного опору, віднесений до швидкості пилоповітряної суміші в апараті ВЗП – ξ .

Інтервали варіювання та рівні визначальних факторів наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення визначальних факторів при оцінці ефективності та аеродинамічного опору установки знепилювання

Визначальні фактори	Інтервали варіювання факторів	Рівні факторів		
		-1 (нижній)	0 (основний)	+1 (верхній)
L_0	0,8 (2880)	1 (3600)	1,8 (6480)	2,6 (9360)
K	0,08	0,18	0,26	0,34

Під час проведення експериментальних досліджень було реалізовано план 3^2 , наведений у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Повно факторний експеримент 3^2

№ досліду	X_1	X_2	№ досліду	X_1	X_2
1	0	0	6	-1	+1
2	+1	0	7	0	-1
3	-1	0	8	+1	-1
4	0	+1	9	-1	-1
5	+1	+1			

Результати експериментальної оцінки ефективності запропонованої установки знепилення наведені у таблиці 3.4 та на рисунку 3.6.

Таблиця 3.4 – Результати експериментальної оцінки ефективності установки знепилювання

Продуктивність установки, м ³ /с (м ³ /год), L_0	Частка витрати пилоповітряної суміші, що відсмоктується з бункера апарату ВЗП, K	$\varepsilon_{\text{сист}}$
1,0 (3600)	0,18	0,1220
	0,26	0,1035
	0,34	0,1018
1,8 (6480)	0,18	0,0870
	0,26	0,0700
	0,34	0,0668
2,6 (9360)	0,18	0,0665
	0,26	0,0466
	0,34	0,0469

Отримані результати описуються рівнянням регресії виду

$$\varepsilon_{\text{сист}} = 0,0386 + 0,01(L_0 - 3,5)^2 + 1,256(K - 0,31)^2 \quad (3.7)$$

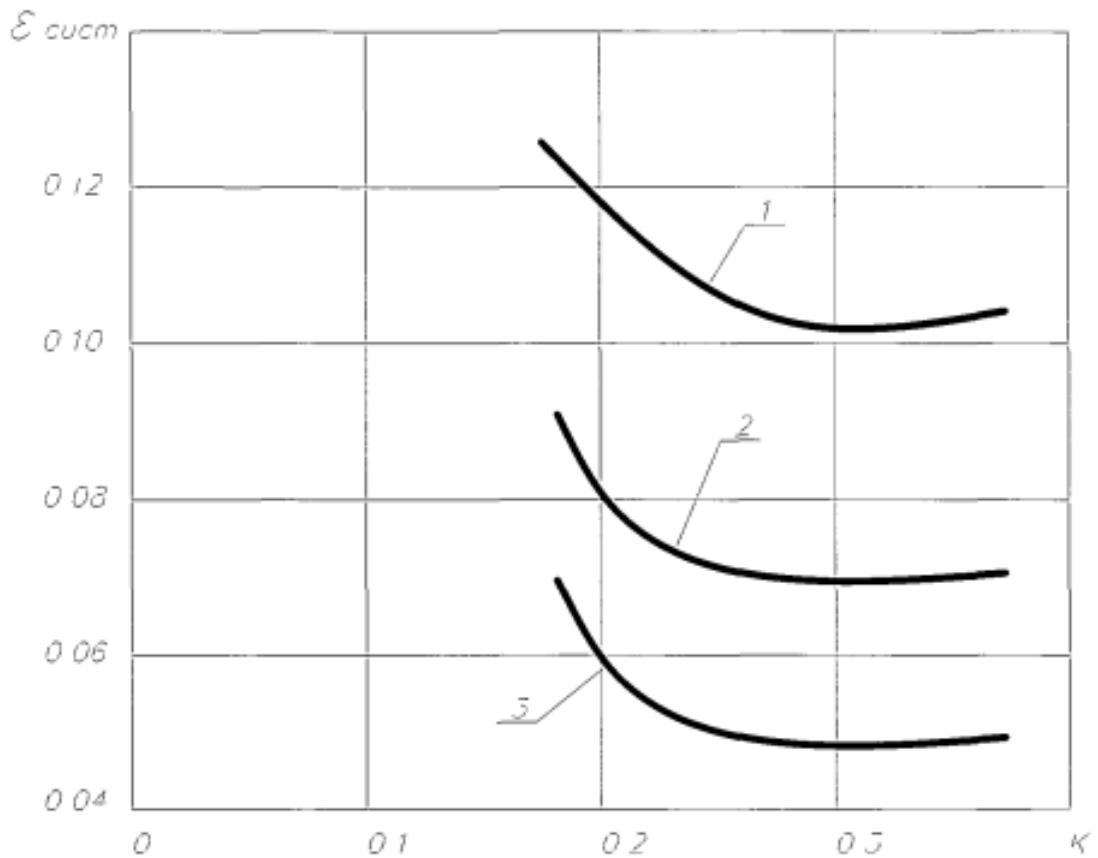


Рис. 3.6 – Зміна ефективності установки знепилювання залежно від її продуктивності та коефіцієнта K при: 1 – $L_0 = 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$ ($3600 \text{ м}^3/\text{год}$); 2 – $L_0 = 1,8 \text{ м}^3/\text{с}$ ($6480 \text{ м}^3/\text{год}$); 3 – $L_0 = 2,6 \text{ м}^3/\text{с}$ ($9360 \text{ м}^3/\text{год}$)

У таблиці 3.5 наведено результати експериментальної оцінки аеродинамічного опору запропонованої установки знепилювання. На рисунку 3.7 показано зміну аеродинамічного опору системи знепилювання залежно від режимних параметрів її роботи.

На рисунку 3.8 представлені графічні залежності виду $\xi = f(L_0, K)$, які апроксимуються виразом виду

$$\xi = 103,7 + 202,34(L_0 - 2,14)^2 + 647(K - 0,27)^2 \quad (3.8)$$

Таблиця 3.5 – Результати експериментальної оцінки аеродинамічного опору установки знепилювання

Продуктивність установки, $\text{м}^3/\text{с}$ ($\text{м}^3/\text{год}$), L_0	Частка витрати пилоповітряної суміші, що відсмоктується з бункера апарату ВЗП, K	Втрата тиску ΔP , Па	Наведений коефіцієнт місцевого опору, ξ
1,0 (3600)	0,18	764	325
	0,26	1170	151
	0,34	3800	234
1,8 (6480)	0,18	560	233
	0,26	470	60
	0,34	2356	141
2,6 (9360)	0,18	570	237
	0,26	480	62
	0,34	2360	145

Отримані дані свідчать, що найбільша ефективність та найменший аеродинамічний опір системи забезпечується при зміні частки витрати пилоповітряної суміші, що відсмоктується з бункера апарату ВЗП, від об'єму запиленого повітря, що поступає в установку, в межах $0,25 \leq K \leq 0,34$.

Хоча при таких значеннях K дещо зменшується ступінь очищення в апараті ВЗП [28, 29], але при цьому зростає витрата і, отже, швидкість пилоповітряної суміші в циклоні, що зумовлює підвищення його ефективності та, відповідно, збільшення ефективності установки знепилювання загалом.

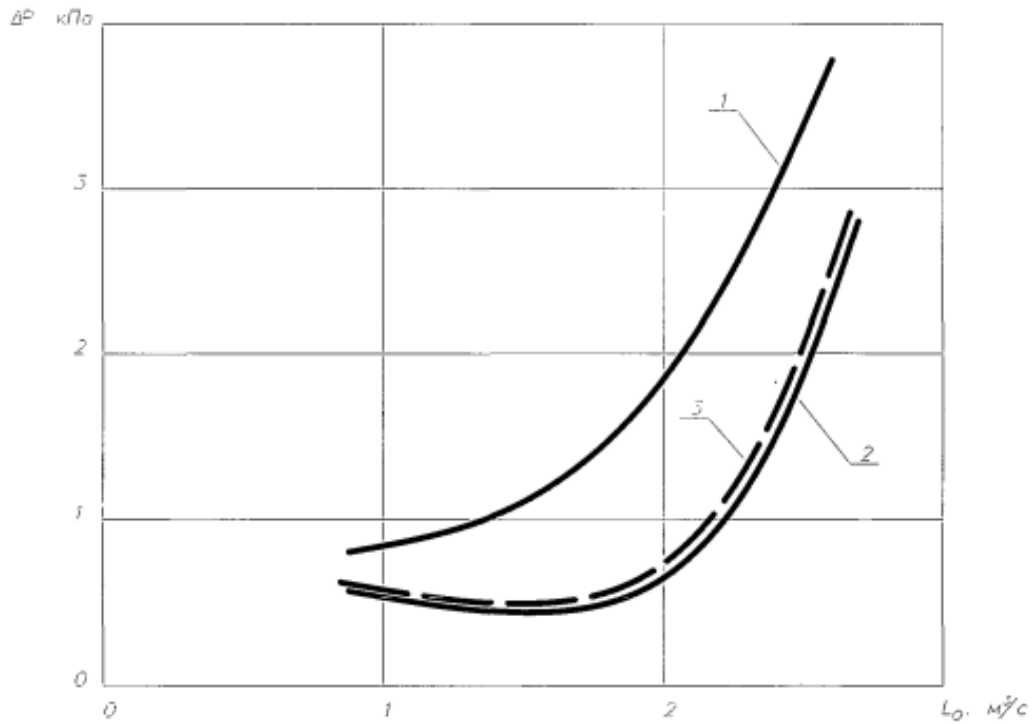


Рис. 3.7 - Втрати тиску в установці знепилювання залежно від її продуктивності
при: 1 – $K = 0,18$; 2 – $K = 0,26$; 3 – $K = 0,34$

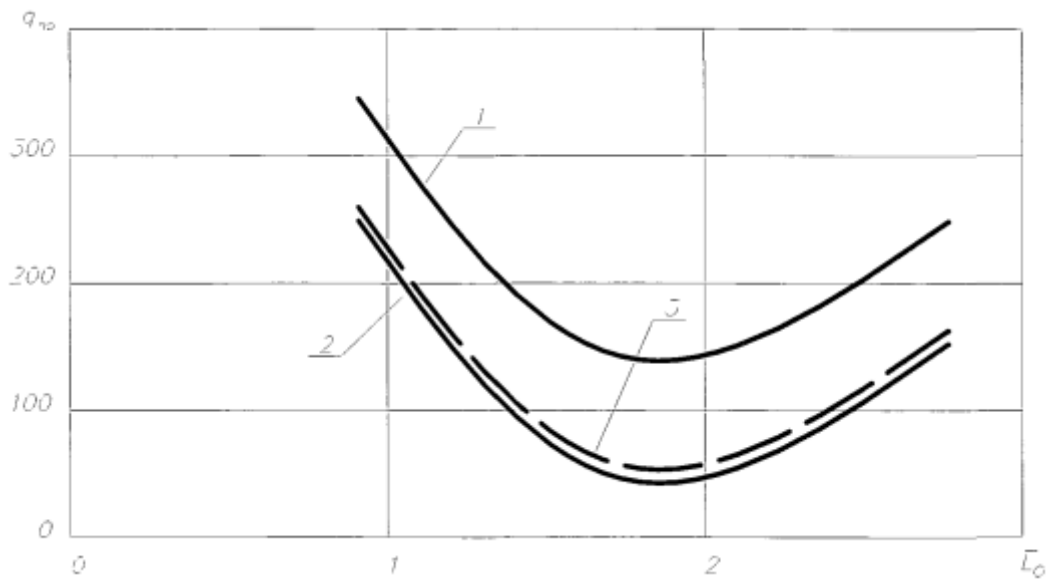


Рис. 3.8 – Зміна коефіцієнта аеродинамічного опору установки знепилювання
залежно від її продуктивності при:
1 – $K = 0,18$; 2 – $K = 0,26$; 3 – $K = 0,34$

З іншого боку, найменший аеродинамічний опір відзначається при продуктивності установки $1,5 \text{ м}^3/\text{с} \leq L_0 \leq 2 \text{ м}^3/\text{с}$ або $5400 \text{ м}^3/\text{год} \leq L_0 \leq 7200 \text{ м}^3/\text{год}$. Подальше підвищення витрати пилоповітряної суміші, що подається на очищення, хоча і забезпечує зниження величини $\epsilon_{\text{сист}}$, але призводить до зростання аеродинамічного опору.

3.3 Висновки до третього розділу

1. Визначено значення концентрацій частинок PM_{10} та $\text{PM}_{2,5}$ для викидів пилю, що утворюється під час розміщення будівельних відходів на полігоні.

2. Для зниження викидів пилю, що утворюється при дробленні будівельних відходів на полігоні, для обслуговування дробарки запропонована схема компонування установки знепилювання, та отримана аналітична залежність з метою оцінки коефіцієнта проскоку.

3. За результатами дослідно-промислових досліджень отримано залежності, що характеризують ефективність та аеродинамічний опір запропонованої установки знепилювання при різних режимах роботи.

4. Експериментально встановлено, що найбільша ефективність та найменший аеродинамічний опір знепилюючої установки забезпечується при зміні частки витрати пилоповітряної суміші, що відсмоктується з бункера апарату ВЗП, від від об'єму запиленого повітря, що поступає в установку, в межах $0,25 \leq K \leq 0,34$ та при продуктивності установки в межах $5400 \text{ м}^3/\text{год} \leq L_0 \leq 7200 \text{ м}^3/\text{год}$.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Організація охорони праці та оцінка професійних ризиків працівників полігонів ТПВ

Накопичення твердих побутових відходів це не лише екологічна проблема, але й проблема створення безпечних умов праці для працівників полігонів ТПВ. Під час виконання професійної діяльності на працівників цих об'єктів впливають небезпечні та шкідливі чинники: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. Це небезпечні випари, пил, дим, комахи, неприємний запах, спека, холод, машини та їх рухомі механізми, а для водіїв транспортних засобів ще й тривале перебування у фіксованій робочій позі в обмеженому просторі кабіни (бульдозера чи трактора). Такі дискомфортні умови праці підвищують ймовірність виникнення помилок, підвищується ризик виникнення нещасних випадків чи професійних захворювань працівників. Тому, покращення умов праці працівників полігонів ТПВ є актуальною проблемою.

Для покращення умов праці необхідна ідентифікація виробничих шкідливих факторів і небезпек та оцінка професійних ризиків з метою визначення превентивних заходів для працівників полігона ТПВ для збереження їх життя та здоров'я на робочому місці.

Оцінка професійних ризиків працівників полігону ТПВ проводилась на полігоні «Дальницькі кар'єри», що розташований на території Овідіопольського та Біляївського районів Одеської області.

Для оцінки професійного ризику небезпек застосовано метод Файн-Кінні. У методі частота впливу небезпеки змінюється в діапазоні від 0 (ніколи немає впливу) до 10 (постійний вплив). Імовірність реалізації небезпеки варіюється від 0 (абсолютно неможливо) до 10 (напевно відбудеться). Наслідки

змінюються від 1 (мінімальні пошкодження) до 100 (катастрофа). За класифікацією професійний ризик поділяють на п'ять груп: дуже легкий; невеликий; середній; високий; вкрай високий. Для кожного конкретного випадку визначають причини виникнення виробничої травми або аварії. Тобто, методом Файн-Кінні проводять попереднє оцінювання ризиків, що впливають на працівника на робочому місці. Для керування ними складають карти професійного ризику, що дає змогу визначати ефективні шляхи підвищення безпеки праці на робочому місці. Для оцінювання ризику та керування ним були залучені й інші складові керування ризиками, рекомендовані ISO 31000, а саме: установлення оточення (дослідження проводились на полігоні ТПВ); обмін інформацією та консультування (залучення працівників цього об'єкта в якості опитуваних з метою отримання детальної інформації щодо виробничих чинників шкідливої і небезпечної дії на робочому місці); загальне оцінювання ризику (його ідентифікація, аналіз та оцінювання за вказаною методикою); обробка результатів оцінювання ризику та критичний аналіз (обговорення результатів з працівниками полігону ТПВ).

Відомо, що в Україні офіційно зареєстровано 5455 сміттєзвалищ і полігонів загальною площею понад 8,5 тис. га [30]. Результати моніторингу умов діяльності працівників на полігонах ТПВ вказують на наявність таких небезпечних та шкідливих чинників [31]: – хімічних (фенол, формальдегід, ангідрид сірчаний, сірководень, вуглецю оксид, діоксид азоту тощо); – фізичних (мікроклімат – підвищена або знижена температура навколишнього середовища, опади, туман, шум і вібрація від транспортних засобів та устаткування); – біологічних (збудники інфекційних та паразитарних хвороб) тощо. Необхідно зазначити, що важливу функцію в процесі утилізації ТПВ виконують водії транспортних засобів [32]: бульдозеристи, трактористи, водії

екскаваторів та самоскидів тощо. Залежно від технологічного процесу транспортні засоби можна розмістити у логістичний ланцюжок: збір сміття – сортувальний комплекс – технологічні операції на полігонах – фітомеліоративні роботи. Тому, крім перелічених шкідливих чинників, для водіїв транспортних засобів небезпеку становить також тривале перебування у вимушеній позі в обмеженому просторі кабіни (бульдозера чи трактора), коли працівник піддається статичному напруженню. Тривале перебування в таких дискомфортних умовах збільшує ймовірність виникнення помилок, а недотримання вимог безпеки та виробничої санітарії збільшує ризик виникнення нещасних випадків чи професійних захворювань серед працівників. Тому необхідно передбачити комплекс превентивних заходів, які б знижували (усували) несприятливий вплив чинників виробничого середовища на життя та стан здоров'я працівників полігонів ТПВ.

Відомо, що ризики умовно можна розділити на дві основні групи: керовані (ймовірність і сила впливу яких може бути певною мірою змінена зусиллями підприємства) та некеровані (ймовірність і сила впливу яких залишаються практично незмінними не залежно від спроб їх змінити). В процесі управління ризиками необхідно керуватися класичною послідовністю: прогнозування ризиків, регулювання (певний механізм впливу на об'єкт управління) та координація заходів з безпеки, контроль за виконанням запланованих заходів з управління ризиками).

Безпосередньо процес управління ризиками являє собою певну послідовність чітко визначених кроків, за допомогою яких суб'єкти господарської діяльності можуть якісно ідентифікувати ризики, яким можуть піддаватися працівники протягом своєї діяльності на робочому місці. Ідентифікація небезпек, оцінювання ризиків та визначення заходів для

управління ризиками є основою системи управління охороною праці. Важливим початковим етапом є ідентифікація небезпек та оцінка професійних ризиків, які проводять у комплексі під час прийняття рішення щодо мінімізації негативних впливів на працівників. Під час дослідження були розглянуті методи зменшення ризику можливих інцидентів для водіїв транспортних засобів (бульдозеристів), які, працюючи на полігоні, перебувають тривалий час під впливом різних шкідливих та небезпечних чинників [33]. Важливим результатом роботи є розробка превентивних заходів безпеки для працівників полігонів. Для дослідження було вибрано найбільш поширений метод оцінки професійних ризиків Файна і Кінні, який базується на аналізі результатів опитування та анкетування працівників. Результатом застосування методу є формування карт професійних ризиків. Цей метод не потребує спеціальних знань фахівців, що проводять оцінку ризиків, і може бути застосований для попередньої оцінки професійних ризиків на робочих місцях. Перед початком дослідження на полігоні «Дальницькі кар'єри» було детально проаналізовано: етапність та технічні особливості технологічного процесу. Для оцінки ризиків при виконанні робіт бульдозериста на полігоні ТПВ основними параметрами для розрахунку взято: вірогідність виникнення небажаної ситуації, частоту її виникнення та важкість небажаних наслідків. Загальна оцінка ризику, пов'язаного з конкретно ідентифікованою небезпекою на робочих місцях у структурних підрозділах, визначалася у балах за формулою:

$$R = P \cdot E \cdot S, \quad (4.1)$$

де: R – величина ризику, пов'язаного з визначеною небезпекою на робочому місці;

P – імовірність виникнення небезпеки;

E – частота виникнення небезпеки;

S – важкість наслідків від небезпеки.

Рекомендовані шкали для оцінювання ймовірності виникнення небезпеки, важкості наслідків та частоти виникнення небезпеки наведені у таблицях 1 – 4 [34–35].

Таблиця 4.1 – Шкала оцінювання ймовірності виникнення небезпеки (P)

Значення P (бал)	Ступінь ймовірності	Опис імовірності виникнення небезпеки
10	Високий	Були випадки на дослідженому полігоні ТПВ
7	Середній	Були випадки на інших полігонах з твердими побутовими відходами
4	Низький	Були випадки в інших підприємствах
1	Малоймовірний	Практично неможливо (тільки теоретично)

Таблиця 4.2 – Шкала оцінювання частоти виникнення небезпеки (E)

Значення E (бал)	Категорія частоти виникнення	Опис періодичності впливу небезпеки
10	Постійно	Значний час протягом робочого дня
7	Часто	Декілька разів на місяць
4	Рідко	Декілька разів на квартал
1	Дуже рідко	Один раз на рік

Таблиця 4.3 – Шкала оцінювання важкості наслідків (S)

Значення S (бал)	Категорія частоти виникнення	Опис періодичності впливу небезпеки
10	Дуже значні	Груповий нещасний випадок, смерть працівника
7	Значні	Стійка втрата працездатності або профзахворювання
4	Серйозні	Травмування з тимчасовою втратою працездатності
1	Незначні	Потребує надання домедичної підготовки

Розраховані за формулою (4.1) значення ступеня ризику (R) порівнювали з наведеними у таблиці 4.4 та визначали відповідну категорію рівня ризику.

Таблиця 4.4 – Бальна оцінка категорії рівня ризиків виникнення небезпеки (R)

Оцінка ризику		Категорія рівня ризику	Можливі дії
Бальна	Якісна		
$512 \leq R$	Дуже великий	Неприйнятний (Н)	Роботу не можна розпочинати або продовжувати до моменту зменшення ризику до прийняттого рівня.
$196 \leq R < 512$	Великий	Неприйнятний (Н)	Роботу не можна виконувати до моменту зменшення ризику до прийняттого рівня. Якщо роботу розпочато і її не можна припинити необхідно використовувати засоби індивідуального захисту та/або додаткові заходи для зниження рівня ризику.
$16 < R < 196$	Середній	Неприйнятний (Н)	Розробляти та впроваджувати заходи щодо зменшення рівня ризику. Здійснювати контроль за дотриманням існуючих заходів.
$1 \leq R \leq 16$	Низький	Прийнятний (П)	Розробляти додаткові заходи не потрібні. Здійснювати контроль за дотриманням існуючих заходів.

Відповідно до даних об'єкта дослідження (полігон «Дальницькі кар'єри» Одеської області) було встановлено:

1. Ймовірність виникнення небезпеки – $P = 7$.
2. Частота, з якою працівники наражаються на небезпеку – $E = 1$.
3. Важкість небажаних наслідків – $S = 4$.

Ризик виникнення небажаної ситуації визначали як добуток трьох параметрів, згідно з формулою (4.1), він становить $R = 28$, що відповідає середньому рівню ризику і передбачає розроблення та впровадження заходів зі зменшення рівня ризику, а також здійснення контролю за дотриманням існуючих заходів. Отже, на полігоні «Дальницькі кар'єри», на рівні системи управління охороною праці необхідно розробити та впровадити заходи зі зменшення рівня ризику та проводити постійний контроль за дотриманням існуючих заходів. Враховуючи наведені вище та у таблиці 4.5 шкідливі виробничі чинники, які впливають на працівників полігонів ТПВ, на основі результатів оцінки професійних ризиків, залежно від виду діяльності та професії, запропоновані заходи для зниження їх впливу на працівників (табл. 4.5).

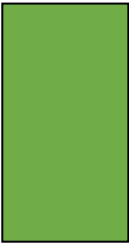
Застосування запропонованих у таблиці 4.5 заходів дасть змогу знизити професійні ризики для працівників полігонів ТПВ і залишковий ризик матиме значно нижчі значення (табл. 4.6).

Для зниження ймовірності виникнення небезпеки, окрім заходів, поданих в таблиці 4.5, необхідно передбачити також якісне виконання основних завдань СУОП: проведення інструктажів з охорони праці; навчання безпечним методам роботи; перевірку знань з охорони праці та пожежної безпеки; проведення попереднього та періодичних медичних оглядів; дотримання вимог робочих інструкцій для професій та інструкцій з охорони праці за видами робіт. Крім того, працівники полігону ТПВ «Дальницькі кар'єри» повинні бути забезпечені спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

Таблиця 4.5 – Карта ризику для полігону твердих побутових відходів

№ з/п	Вид діяльності	Небезпечний фактор	Професії (особи), які наражаються на небезпеку	Оцінка базових ризиків				Захисні/запобіжні заходи
				P	E	S	R	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Рух по території транспорту	Травмування з тяжкими наслідками або тимчасовою втратою працездатності з	Працівники підприємства (спеціаліст, майстер, бульдозерист)	7	1	4	28 Середній 	1. Рух транспорту на об'єкті організувати за схемою маршрутів руху транспортних та пішохідних потоків з вказаними на ній поворотами, зупинками, виїздами, переходами. 2. Схему руху вивісити в місцях стоянки автотранспорту, перед виїздами (виїздами) на територію об'єкта. Рух здійснювати за маршрутом визначеним схемою руху. 3. Провести аналіз безпечного пересування по території працівників в зонах пересікання з рухом транспорту. 4. Територія об'єкта повинна бути обладнана дорожніми знаками, покажчиками швидкості руху транспорту 5. Транспорт при виїзді на територію вибухопожежо-небезпечного об'єкта обладнати




Продовження табл. 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
								іскрогасником. 6. Учасники руху зобов'язані знати і неухильно виконувати вимоги схеми руху транспорту на об'єкті та Правил дорожнього руху України, а також дотримуватись визначених вимог відповідно до інструкцій.
2	Ремонтні роботи та технічне обслуговування транспортних засобів	Травмування при падінні з висоти, отруєння вихлопними газами, травмування при падінні вузлів деталей	Водії, машиністи, слюсарі з ремонту ТЗ	4	1	4	16 Низький 	1. Провести аналіз безпечного виконання робіт з технічного обслуговування автотранспорту та іншої техніки. 2. Використання каски жилетки та інших засобів індивідуального захисту. 3. Дотримуватись послідовності виконання технологічних операцій. 4. Встановлення попереджувальних знаків. 5. Дотримання вимог інструкцій охорони праці та промислової безпеки.

Продовження табл. 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Утворення звалищного газу та підвищений ризик самозаймання	Травмування при ліквідації само-займань, опіки, смертельні випадки	Працівники полігону ТПВ	7	4	7	196 Великий 	1. Забезпечення достатньої кількості засобів пожежогасіння на місцях проведення робіт; 2. Детальне навчання робітників; 3. Пересування по території лише в дозволених місцях; 4. Забезпечення робітників належними засобами індивідуального захисту (зокрема газоаналізаторами, для визначення концентрації шкідливого газу тощо).

Таблиця 4.6 – Оцінка залишкових ризиків

№ з/п	Вид діяльності	Професії (особи), які наражаються на небезпеку	Оцінка базових ризиків			
			P	E	S	R
1	Рух по території транспорту	Працівники підприємства (спеціаліст, майстер, бульдозерист)	2	1	2	4 Низький 
2	Ремонтні роботи та технічне обслуговування транспортних засобів	Водії, машиністи, слюсарі з ремонту ТЗ	2	1	2	4 Низький 
3	Утворення звалищного газу та підвищений ризик самозаймання	Працівники полігону ТПВ	4	2	4	32 Середній 

Велике значення в профілактиці несприятливого впливу шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища на здоров'я працюючих має забезпечення їх санітарно-побутовими приміщеннями (гардеробні, душові, умивальні, туалети, приміщення для прийому їжі, приміщення для обігріву або охолодження тощо).

4.2 Висновки до четвертого розділу

1. Проаналізовано шкідливі та небезпечні виробничі чинники, які прямо або опосередковано впливають на здоров'я працівників полігону ТПВ «Дальницькі кар'єри» та призводять до травмувань і смертельних випадків. Для оцінки професійних ризиків обрано метод Файна-Кінні, який дає змогу оцінити

рівень ризиків в балах, враховуючи ймовірність їхнього виникнення, частоту нараження на них працівників, а також важкість наслідків. На основі результатів розрахунків ранжировано ризики за рівнями та виявлено, які з них потребують запровадження запобіжних та контрольних заходів.

2. На основі виконаної оцінки професійних ризиків, залежно від професії та виду діяльності, запропоновані заходи для зниження їх впливу на працівників та запобігання нещасним випадкам. Складено карту ризику для полігону твердих побутових відходів, яка являє собою систему моментальної оцінки очікуваних професійних ризиків та заходів щодо їх зниження до допустимого рівня, а також системи контролю за ними, визначено залишкові ризики.

РОЗДІЛ 5

ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Пожежі на полігонах ТПВ належать до найбільш складних і тривалих, гасіння яких вимагає залучення значних ресурсів, зусиль, засобів і часу. Пожежна небезпека сміттєзвалищ залежить від ущільнення полігонів ТПВ. Чим більша щільність сміття на полігонах, тим менша ймовірність виникнення пожеж унаслідок самозаймання. Відсутність належного доступу до осередків пожежі, що зазвичай розміщуються на схилах полігону ТПВ викликає необхідність у створенні нових способів подачі вогнегасних речовин для забезпечення необхідного гасіння із врахуванням наступної проблематики:

- великі розміри пожеж на сміттєзвалищах, та переважно круті схили складування сміття;
- відсутність твердого під'їзду, та накопичення фільтрату по периметру до сміттєзвалища;
- переважно відсутність або недостатня кількість джерел протипожежного водопостачання;
- густе задимлення та токсичність продуктів горіння;
- можливість вибуху в результаті скупчення утворень біогазу;
- наявність великої кількості ріжучих та колючих елементів у смітті, що унеможлиблює прокладання рукавних ліній, доступ особового складу до осередку

Основною причиною виникнення пожеж залишається людська необачність і недбалість, нехтування правилами пожежної безпеки, необережне поводження з вогнем, порушення технологічного регламенту захоронення твердих побутових відходів. Полігони здатні до самозаймання. Спричиняє процес біохімічне розкладання відходів, яке супроводжується підвищенням температури до 40-70 °С. Все це збільшує вірогідність виникнення техногенних аварій на полігоні ТПВ. Оскільки на даному об'єкті існує ймовірність виникнення ситуації техногенного характеру (пожежі, вибуху, забруднення

навколишнього середовища) питання необхідності захисту працівників є досить актуальним і потребує розгляду.

Унаслідок біохімічних процесів у тілі полігона ТПВ утворюється біогаз, тому існує ймовірність виникнення вибуху та пожежі. З метою визначення зони ураження в даній роботі було проведено ряд розрахунків.

Розрахунок зони надзвичайної ситуації при вибухах біогазу на полігонах ТПВ

Розрахунок зони надзвичайної ситуації при вибухах вибухонебезпечної суміші виконаємо згідно методичних вказівок до розділу «Цивільний захист» кваліфікаційної роботи [36].

На полігоні «Дальницькі кар'єри» умовно відбулось самозаймання сміття в результаті вибуху метану масою $M=0,05$ т. Місце вибуху метану знаходиться на відстані $R_{об} = 25$ м від господарської зони полігону (адміністративна будівля, вагова, склад інвентаря та змінного одягу). Визначити характер руйнування господарських приміщень, якщо каркас будівель – залізобетонний (за даними паспорта).

Для оцінки осередку ураження при вибуханні легкозаймистого повітряного середовища необхідно розрахувати:

1. Визначення радіуса зони детонаційної (бризантної) дії вибуху R_1 за формулою:

$$R_1 = 17,5 \sqrt[3]{M} = 17,5 \sqrt[3]{0,5 * 0,05} = 5,2 \text{ м}, \quad (5.1)$$

де R_1 – радіус зони детонаційної (бризантної) дії вибуху, м;

M – маса виділеного метану, т.

2. Радіус зони дії продуктів вибуху (осколків) R_2 об'ємного вибуху розраховуємо за формулою:

$$R_2 = 1,7 \cdot R_1 = 1,7 \cdot 5,2 = 8,7 \text{ м}, \quad (5.2)$$

де R_2 – радіус зони дії продуктів вибуху (осколків), м;

3. Надмірний тиск ΔP_{Φ} у зоні розльоту продуктів вибуху дорівнює:

$$\Delta P_{\Phi} 1300 \cdot \left(\frac{R_1}{R_{об}}\right)^3 + 50 = 1300 \cdot \left(\frac{5,2}{25}\right)^3 + 50 = 61,7 \text{ кПа}, \quad (5.3)$$

де ΔP_{Φ} – надмірний тиск у зоні розльоту продуктів вибуху, кПа;

$R_{об}$ – відстань від центру вибуху до об'єкта, м.

4. Радіус дії R_3 ударної хвилі визначається залежністю:

$$R_3 = 12 \cdot R_1 = 12 \cdot 5,2 = 62,4 \text{ м}, \quad (5.4)$$

де R_3 – радіус дії ударної хвилі, м;

5. Надмірний тиск ΔP_{yx} у зоні дії повітряної ударної хвилі обчислюється за формулою:

$$\Delta P_{yx} = \frac{233}{\sqrt{1+0,41\left(\frac{R_{об}}{R_1}\right)^3 - 1}} = \frac{233}{\sqrt{1+0,41\left(\frac{25}{5,2}\right)^3 - 1}} = 34,5 \text{ кПа}, \quad (5.5)$$

де ΔP_{yx} – надмірний тиск у зоні дії повітряної ударної хвилі, кПа.

За таблицею 3.5 [40] можна зробити висновок що ступінь руйнування господарської зони оцінюється як сильний.

Щоб запобігти вибуху метану і пожежам створюється система вилучення та знешкодження біогазу.

Наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 01.12.2010 р. № 435 затверджені Правила експлуатації полігонів ТПВ [37]. Також на полігонах має бути затверджена Інструкція про заходи пожежної безпеки, в якій встановлюються порядок та спосіб забезпечення пожежної безпеки, обов'язки і дії працівників у разі виникнення пожежі, включаючи порядок оповіщення людей та повідомлення про неї пожежної охорони, евакуації людей, тварин і матеріальних цінностей, застосування засобів пожежогасіння та взаємодії з підрозділами пожежної охорони [38, 39].

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень функціонування полігонів ТПВ та будівельних відходів як джерел антропогенного впливу на навколишні екосистеми.

За результатами роботи можна зробити такі основні висновки:

1. Проведений аналіз показав, що будівельні відходи, характеризуються значним розмаїттям компонентного складу, як правило, розміщуються на полігонах ТПВ. Проведення пов'язаних із цим операцій (вивантаження з автотранспорту, дроблення, зіштовхування на робочу карту, ущільнення, формування проміжних ізолюючих шарів тощо) супроводжується значним виділенням багатокомпонентного пилу в довкілля. Оцінка об'ємів пилових викидів до атмосфери в подібних випадках проводиться за діючими методиками, в яких розрахункові коефіцієнти віднесено до конкретних будівельних матеріалів.

2. На основі експериментальних досліджень, виконаних у натурних умовах, встановлені залежності, що характеризують закономірності поширення частинок пилу у навколишньому середовищі під час проведення різних операцій, пов'язаних із розміщенням будівельних відходів на полігоні (вивантаження відходів, їх ущільнення, формування проміжного ізолюючого шару з подрібнених будівельних відходів та ґрунту, відкрите зберігання подрібнених будівельних відходів та ґрунту) при різних швидкостях вітру.

3. За результатами дисперсійного аналізу пилу будівельних відходів отримано залежності щільності розподілу частинок PM_{10} та $PM_{2,5}$.

4. Для зниження пилових викидів в атмосферу при дробленні будівельних відходів на полігоні розроблено схему компонування установки знепилювання та отримана аналітична залежність для оцінки її ефективності.

5. За результатами дослідно-промислових випробувань на полігоні твердих побутових та промислових відходів IV та V класів небезпеки «Дальницькі кар'єри» у Одеській обл. отримані експериментальні залежності, що характеризують ефективність та аеродинамічний опір запропонованої установки, та визначені найраціональніші режимні параметри її роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. КВЕД : класифікатор видів економічної діяльності : розділ F : Будівництво : офіц. сайт Держстат України. URL: https://kved.ukrstat.gov.ua/KVED2010/41/KVED10_41.html (дата звернення 29.07.2024).
2. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96. [Чинний з 01.10.96] : офіц. сайт. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/FIN7371> (дата звернення 30.07.2024).
3. Практичні аспекти управління відходами в Україні : посіб. / Барінов М.О. та ін. Київ : «Поліграф плюс», 2021. 118 с.
4. Абашина К.О. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Утилізація промислових відходів» (для студентів 6 курсу денної форми навчання спеціальності 8.17020201 – Охорона праці. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім.О.М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім.О.М. Бекетова, 2016. 58 с.
5. Очеретний В. П., Ковальський В. П., Машницький М. П. Нове в технології виробництва цементно-карбонатних будівельних виробів з використанням промислових відходів. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2008. № 5. С. 33- 36.
6. Шуваєв А. А. Сучасні тенденції управління потоками будівельних відходів, як потенційними вторинними ресурсами галузі. *Управління розвитком соціально-економічних систем* : матеріали 5 Міжнар. наук.-практ. інтерн.-конф., м. Харків, 26-30 квіт. 202. Харків: ХНТУСГ, 2021. С. 246-249.
7. МВВ № 081/12-0296-06 Викиди газопилові. Методика виконання вимірювань масової концентрації летких органічних сполук в організованих викидах стаціонарних джерел методом газової хроматографії.
8. Перелік методик виконання вимірювань (визначень) складу та властивостей проб об'єктів довкілля, викидів, відходів і скидів, тимчасово допущених до використання Мінприроди. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. Київ: 2007.

9. Методики розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин в атмосферне повітря внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану та визначення розмірів завданої шкоди. [Чинний з 13.05.22] : офіц. сайт. Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-22#Text> (дата звернення 18.08.2024).

10. Мадані М.М. Захист атмосфери урбанізованих територій від пилових викидів при виробництві газобетонних конструкцій. *Техногенно-екологічна безпека*. 2023. № 1. С. 11-19. <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2023.1.2>

11. Бахарєв В.С. Methodology of estimation of affecting a state of atmospheric air of springs of the secondary dust pollution. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2006. № 6-1. С. 160-162.

12. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери : навч. посіб. / Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Вінниця : ВНТУ, 2012. 388 с.

13. Мадані М. М. Сучасні заходи захисту навколишнього середовища : конспект лекцій [Електронний ресурс] : спец. 101 "Екологія" галузі знань 10 "Природничі науки" / М. М. Мадані ; Каф. екології та природоохоронних технологій. Одеса: ОНАХТ, 2020. 80 с.

14. Мадані М. М. Технології захисту атмосфери : конспект лекцій [Електронний ресурс] : спец. 101 "Екологія" галузі знань 10 "Природничі науки", спец. 183 "Технології захисту навколишнього середовища" галузі знань 18 "Виробництво та технології" / М. М. Мадані ; Каф. екології та природоохоронних технологій. Одеса : ОНТУ, 2022. 53 с.

15. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б., Кочевих М.О. Будівельне матеріалознавство : підручник. К. : «Видавництво Ліра-К», 2012. 624 с.

16. Старик В. Використання відходів деревообробної промисловості у будівельній галузі. *Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання* :

матеріали X студент. Наук.-техн. конф., м. Київ, 15-16 квіт. 2007. Київ, 2007. С. 166-166.

17. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : колективна монографія / [авт. кол. : Мадані М. М., Крутоголова І. О., Андрєєва Н. М. та ін.] / за ред. проф. Мальованого М. С. – Київ : Яроченко Я. В., 2022. 566 с. : рис., таблиці / Online-видання. DOI <https://doi.org/10.51500/7826-23-0>

18. Мадані М.М., Гаркович О.Л. Техніка та технології очищення газових викидів : навч. посіб. для студ. закладів вищої освіти. Одеса: ОНАХТ «Академия», 2018. 226 с.

19. Zhang H. Ahmadi G. Aerosol particle transport and deposition in vertical and horizontal turbulent duct flows. *Journal of Fluid Mechanics*. 2000. № 406. P. 55-80.

20. Spurny K. R. *Advances in aerosol gas filtration*. CRC Press, 1998.

21. Куц В. П. Пристрої для визначення дисперсного складу подрібнених матеріалів. *Наукові праці ОНАХТ*. 2008. Вип. 32. С. 144 -32.

22. Гнушев В.О. Вентиляція та пневмотранспорт : навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2010. 183 с.

23. Якість повітря. Викиди стаціонарних джерел. Настанови з відбирання проб : ДСТУ 8812:2018 [Чинний з 01.12.19]. Київ : Держстандарт України, 2020. 40 с.

24. Коузов П.А. Основи аналізу дисперсного складу промислових пилів та подрібнених матеріалів. Львів.: Хімія, 2017. 280 с.

25. Мадані М. М. Техніка та технології очистки газових викидів : метод. вказівки до виконання лабораторних робіт [Електронний ресурс] : спец. 101 "Екологія" галузі знань 10 "Природничі науки" та 183 "Технології захисту навколишнього середовища" галузі знань 18 "Виробництво та технології". Одеса : ОНТУ, 2022. 19 с.

26. Козій І.С., Рой І.О. , Яхненко О.М. , Пономаренко Р.В. , Щербак С.С. Математично-статистичне дослідження впливу дрібнодисперсних твердих

забруднюючих речовин на здоров'я людини. *Техногенно-екологічна безпека*. 2021. № 10. С. 23-27.

27. Сафранов Т. А. Екологічні основи природокористування: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Т. А. Сафранов. Одеса: ОДЕКУ, 2002. 226 с.

28. Шушляков О. В. Підвищення ефективності сухої очистки газів за допомогою інерційних апаратів : автореф. дис. ... докт.техн. наук. Харків: ХАТУБА, 2004. 37 с.

29. Каспрук В.Б. Підвищення ефективності пиловловлювання в апаратах із зустрічними закрученими потоками : дис. ...канд. техн. наук : 05.05.13. Тернопіль, 1998. 165 с.

30. Мішенін Є. В., Височанська М. Я. Стан сфери управління твердими побутовими відходами в Україні. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 4. С. 20-24.

31. Які шкідливі чинники діють на організм працівників полігонів твердих побутових відходів? / Журнал «Охорона праці і пожежна безпека» за матеріалами управління Держпраці у Миколаївській області. 24.10.2017. URL: <https://oppb.com.ua/news/yaki-shkidlyvi-factory-diyut-na-organizm-pracivnykiv-poligoniv-tverdyh-pobutovyh-vidhodiv/> (дата звернення 16.08.2024).

32. Попович В. В. Особливості використання транспортних засобів під час транспортування, сортування, утилізації та фітомеліорації твердих побутових відходів. *Науковий вісник НЛТУ України*: зб. наук.-техн. праць. Львів : РВВ НЛТУ України, 2012. Вип. 22.10. С. 90-96.

33. Vasarhelyi Kayla. The Hidden Damage of Landfills. Environmental Center. URL: <https://www.colorado.edu/ecenter/2021/04/15/hidden-damage-landfills> (дата звернення 04.08.2024).

34. Zahira Gabriela Cruz Netro, Elizabeth de la Torre Romero & Jose Luis Martinez Flores. Adaptation of the Fine-Kinney method in supply chain risk assessment. *Safety and Security Engineering VII WIT Transactions on The Built Environment*. 2018. V. 174. DOI:10.2495/SAFE170051

35. Горностаї О.Б., Кость О.Ю. Оцінювання та аналіз ризиків працівників газовидобувної сфери. *Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку*: матеріали VIII Всеукр. наук.-практ. інтер.-конф., м. Ірпінь, 12–20 листоп. 2018. Ірпінь, Національний університет ДФС України, 2018. С. 207-210.

36. Методичні вказівки до виконання розділу «Цивільний захист» в дипломних проектах студентів усіх напрямків підготовки денної та заочної форм навчання/Автори О.А. Нетребський, І.А. Дюдїна, З.М. Сахарова. Одеса: ОНАХТ, 2012. 34 с.

37. Правила експлуатації полігонів побутових відходів : офіц. сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1307-10#Text> (дата звернення 29.07.2024).

38. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту : офіц. сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0801-18#Text>

39. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування : ДБН В.2.4-2-2005 [Чинний з 01.01.2006]. Київ : Держбуд України, 2005. 100 с.