

# ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ

*Частина перша*

*Захист атмосфери*



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**

**ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

# **ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ**

**Частина перша**

**Захист атмосфери**

**Навчальний посібник**

**Вінниця  
ВНТУ  
2012**

УДК 502.55 (075.8)

ББК 20.1

П77

Автори:

**Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В.**

*Рекомендовано до друку Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Екологія». Лист №1/11-4105 від 17 травня 2010 року.*

Рецензенти:

**А. П. Ранський**, доктор хімічних наук, професор

**В. А. Порєв**, доктор технічних наук, професор

**М. Д. Гомеля**, доктор технічних наук, професор

П77 **Природоохоронні** технології. Частина 1. Захист атмосфери : навчальний посібник / Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 388 с.

ISBN 978-966-641-478-9

В посібнику розглянуті природоохоронні технології захисту атмосфери, які базуються на способах очищення атмосферного повітря від забруднення промисловим пилом і газами. Наведений перелік очисних споруд, їх конструкції, методи розрахунків та необхідні довідкові матеріали.

Розрахований на студентів екологічних спеціальностей, фахівців управління охорони навколишнього природного середовища, екологічної інспекції та працівників комунального господарства.

**УДК 502.55 (075.8)**

**ББК 20.1**

ISBN 978-966-641-478-9

© Л. Северин, В. Петрук, І. Безвозюк, І. Васильківський, 2012

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
Основні умовні позначення до 1 розділу.....	10
1 ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ПИЛУ І ГАЗІВ.....	11
1.1 Природа атмосферних забруднювачів.....	11
1.2 Основні властивості пилу.....	11
1.2.1 Густина пилу.....	11
1.2.2 Дисперсність.....	15
1.2.3 Адгезійні властивості.....	17
1.2.4 Абразивність.....	17
1.2.5 Змочуваність.....	17
1.2.6 Гігроскопічність.....	18
1.2.7 Електрична провідність.....	18
1.2.8 Електрична зарядженість.....	20
1.2.9 Здатність до самозаймання.....	20
1.3 Ефективність вловлювання пилу.....	20
1.4 Основні властивості газів.....	22
1.4.1 Густина і в'язкість.....	22
1.4.2 Вологість газів.....	23
1.4.3 Питома теплоємність газів.....	23
1.4.4 Ентальпія газів.....	24
1.5 Фізичні основи пиловловлювання.....	24
1.5.1 Гравітаційне осадження частинок.....	25
1.5.2 Відцентрове осадження частинок.....	27
1.5.3 Інерційне осадження частинок.....	29
1.5.4 Захоплення частинок.....	32
1.5.5 Дифузійне осадження.....	33
1.5.6 Осадження під дією електричних зарядів.....	33
1.5.7 Магнітні поля.....	38
1.5.8 Акустичні поля.....	38
1.5.9 Термофорез.....	38
1.5.10 Фотофорез.....	40
1.5.11 Дифузіофорез.....	41
1.6. Природоохоронні технології захисту навколишнього середовища.....	42
1.6.1 Способи очищення газів.....	45
1.7 Необхідна ступінь очищення газів.....	48
1.7.1 Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин.....	49
1.7.2 Гранично допустимі викиди шкідливих речовин.....	50
Контрольні запитання.....	51
Основні умовні позначення до 2 розділу.....	52

2 ЗНЕПИЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ГАЗІВ В СУХИХ ІНЕРЦІЙНИХ АПАРАТАХ.....	53
2.1 Пилоосаджувальні камери.....	53
2.2 Інерційні пиловловлювачі.....	56
2.3 Жалюзійний пиловіддільник.....	57
2.4 Циклони.....	58
2.4.1 Технологічні розрахунки циклонів.....	65
2.5 Групові і батарейні циклони.....	70
2.5.1 Технологічні розрахунки батарейних циклонів.....	71
2.6 Вихрові пиловловлювачі.....	77
2.7 Динамічні пиловловлювачі.....	78
2.8 Приклади вибору і розрахунку сухих інерційних пиловловлювачів.....	80
Контрольні запитання.....	89
Основні умовні позначення до 3 розділу.....	90
3 ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ФІЛЬТРУВАННЯМ.....	91
3.1 Тканинні фільтри.....	92
3.2 Волокнисті фільтри.....	95
3.3 Зернисті фільтри.....	99
3.4. Технологічні розрахунки фільтрів.....	102
Контрольні запитання.....	115
Основні умовні позначення до 4 розділу.....	116
4 ЕЛЕКТРИЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ.....	117
4.1 Типи і конструкції електрофільтрів.....	120
4.2 Розрахунок і вибір електрофільтрів.....	127
Контрольні запитання.....	136
Основні умовні позначення до 5 розділу.....	137
5 МОКРЕ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ.....	138
5.1 Фізичні основи мокрого пиловловлювання.....	138
5.2 Порожнинні газопромивники.....	139
5.3 Насадкові газопромивники.....	143
5.4 Пінні пиловловлювачі.....	147
5.5 Механічні газопромивники.....	153
5.6 Ударно-інерційні газопромивники.....	154
5.7 Газопромивники (скрубери) відцентрової дії.....	158
5.8 Швидкісні газопромивники (скрубери Вентурі).....	162
5.9 Приклади вибору і розрахунку мокрих пиловловлювачів.....	171
Контрольні запитання.....	176
Основні умовні позначення до 6 розділу.....	177
6 ОЧИЩЕННЯ ВИКИДІВ ВІД ПАРО- І ГАЗОПОДІБНИХ ЗАБРУДНЕНЬ.....	178
6.1 Абсорбція.....	178
6.2 Хемосорбція.....	182

6.3	Адсорбція.....	182
6.4	Термічне знешкодження газів.....	190
6.5	Каталітичне очищення газів .....	193
6.5.1	Апарати з фільтрувальним шаром каталізатора.....	194
6.5.2	Апарати з завислим (киплячим) шаром каталізатора....	199
6.5.3	Апарати з пиловидним каталізатором.....	201
6.5.4	Розрахунок контактних апаратів з завислим шаром каталізатора.....	202
6.6	Біохімічні реактори.....	207
6.7	Гідрофільтри.....	212
6.8	Технологічні розрахунки.....	215
	Контрольні запитання.....	219
	Основні умовні позначення до 7 розділу.....	220
7	МАГНІТНЕ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ.....	221
7.1	Електромагнітні фільтри з осердям-насадкою.....	222
7.2	Багатополюсні фільтри з „відділеними” електромагнітами....	225
7.3	Фільтри з постійними магнітами.....	227
7.4	Вибір і розрахунок насадок .....	229
	Контрольні запитання.....	236
	Основні умовні позначення до 8 розділу.....	237
8	ПРОБЛЕМИ І ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ.....	238
8.1	Зниження забруднення атмосфери відпрацьованими газами шляхом економії палива.....	238
8.2	Удосконалення двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ).....	240
8.3	Методи знезаражування відпрацьованих газів.....	241
8.4	Альтернативні двигуни.....	249
8.5	Пошук нових видів палива.....	252
8.6	Автоматизовані системи управління міським транспортом....	256
8.7	Розрахунок викидів шкідливих речовин автомобільним транспортом.....	257
	Контрольні запитання.....	266
	Основні умовні позначення до 9 розділу.....	267
9	РОЗСІЮВАННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ.....	271
9.1	Розрахунок забруднення атмосфери викидами одиночного джерела.....	271
9.2	Приклади розрахунку розсіювання шкідливих речовин.....	285
9.2.1	Розрахунок концентрації двоокису сірки.....	286
9.2.2	Розрахунок концентрації окислів азоту.....	288
9.2.3	Розрахунок концентрації золи.....	288
	Контрольні запитання.....	298

10 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ТА УМОВИ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	299
10.1 Вимоги до розташування та організації виробничої території.....	300
10.2 Вибір району будівництва підприємств.....	301
10.3 Компонування будівель і споруд на промисловому майданчику.....	302
10.4 Санітарно-захисні зони.....	304
10.5 Регулювання викидів при несприятливих метеорологічних умовах.....	309
10.5.1 Заходи для скорочення викидів при першому режимі роботи підприємства.....	311
10.5.2 Заходи для скорочення викидів при другому режимі роботи підприємства.....	312
10.5.3 Заходи для скорочення викидів при третьому режимі роботи підприємства.....	313
10.6 Оцінювання забруднення атмосферного повітря населених місць.....	314
10.6.1 Гігієнічні нормативи допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць....	315
10.6.2 Правила оцінювання забруднення атмосферного повітря...	316
10.7 Контроль стану навколишнього середовища.....	318
Контрольні запитання.....	322
11 ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	323
11.1 Поняття моніторингу довкілля.....	323
11.2 Загальні засади державного моніторингу навколишнього природного середовища України.....	325
11.3 Структура і рівні системи державного моніторингу навколишнього природного середовища.....	326
11.4 Організація роботи системи державного моніторингу навколишнього природного середовища.....	327
11.5 Порядок функціонування системи державного моніторингу навколишнього природного середовища.....	330
11.6 Організація спостережень та контролю за забрудненням атмосферного повітря.....	333
11.6.1 Види постів спостережень.....	336
11.6.2 Програми та терміни спостережень.....	339
11.6.3 Автоматизовані системи спостережень і контролю за атмосферним повітрям.....	339
11.7 Екологічне нормування якості атмосферного повітря.....	341
Контрольні запитання.....	343
ЛІТЕРАТУРА.....	344
ГЛОСАРІЙ.....	348

Додаток А. Значення нормальної функції розподілу.....	356
Додаток Б. Гігієнічні нормативи допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць (за ДСП 201-97).....	358
Додаток В. Санітарна класифікація деяких підприємств і розміри санітарно-захисних зон для них (за ДСП 173-96).....	363
Додаток Г. Основні фізичні властивості газів.....	365
Додаток Д. Фракційний склад пилу, який виділяється при деяких процесах абразивного оброблення металів в механічних цехах і цехах гальванічного покриття.....	366
Додаток Е. Густина $\rho$ різних речовин.....	367
Додаток Ж. Питомі викиди шкідливих речовин на ТЕС при спалюванні найпоширеніших видів органічного палива $q_n$ , г/кВт-год.....	368
Додаток И. Середньогодинна кількість відходів, які утворюються при обробленні деревини.....	369
Додаток К. Закон України "Про охорону атмосферного повітря" (Із змінами та доповненнями, внесеними Верховною Радою України станом на 01.01.2009 року).....	370



## ВСТУП

Успадкована Україною спотворена структура промисловості, із переважанням брудних металургійних, хімічних та гірничорудних підприємств зумовила погіршення стану повітряного середовища.

Основними джерелами антропогенного забруднення атмосфери є: виробники енергії (ТЕС, АЕС, ГРЕС, сотні тисяч котелень); усі промислові об'єкти (в першу чергу металургійні, хімічні, нафтопереробні, цементні, целюлозно-паперові); сільське господарство; військова промисловість і військові об'єкти; автотранспорт та інші види транспорту; гірниче виробництво. Вони забруднюють атмосферу сотнями токсичних речовин, та шкідливими фізичними полями, шумами, вібраціями, теплом тощо.

Загальна маса атмосферного забруднення в Україні оцінюється від 240 до 790 млн. т/рік. При цьому 50-60% припадає на енергетику, до 30% – на промисловість, решта – на сільське господарство.

За кількістю промислового забруднення на душу населення Україна посідає одне з перших місць в Європі.

На порівняно невеликій території України десятиліттями відбувалось гіпертрофічне зростання виробництва без урахування екологічних факторів, була збудована найбільша кількість атомних електростанцій. В результаті аварії на ЧАЕС близько 50 тонн ядерного палива випарувалось і було викинуто в атмосферу у вигляді високорадіоактивних аерозольних продуктів розщеплення палива.

Найпоширенішими шкідливими газовими забруднювачами атмосфери є  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , оксиди Нітрогену, бензапірен, сполуки Хлору, Флуору, вуглеводні. Серед промислових аерозолів – зустрічається вугільний пил, зола, сульфати та сульфідні металів (Феруму (Fe), Плюмбуму (Pb), Купруму (Cu), Цинку (Zn) тощо), кремнезему, хлоридів, сполуки Кальцію (Ca), Натрію (Na), Фосфору (P). У викидах містяться також пари основних кислот ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ), ртуті, феноли.

В міру збільшення абсолютних кількостей забруднюючих речовин в атмосфері можливості розсіювання викидів для більшості районів України практично вичерпані. Здатність атмосфери до самоочищення, яке відбувається за рахунок протікання фізико-хімічних процесів між компонентами забруднювачів і компонентами самої атмосфери обмежується, особливо зі збільшенням масштабів її забруднення.

Оскільки виробнича діяльність викликає погіршення природного середовища, суспільство зобов'язане взяти на себе турботу щодо відновлення її властивостей та охорони від подальшої деградації.

Захист атмосферного повітря є однією з найбільш актуальних проблем в сучасному технологічному суспільстві, оскільки науково-технічний прогрес і розширення виробництва пов'язане зі зростанням негативних антропогенних впливів на атмосферу.

Подолання сучасних і засторога ймовірних екологічних негараздів є неможливим без застосування сучасних природоохоронних технологій.

Впровадження природоохоронних технологій захисту атмосфери спрямоване на значне зменшення негативного впливу на атмосферу та навколишнє середовище в цілому з одночасним найраціональнішим використанням природних ресурсів і енергії та захистом навколишнього середовища.

Одним із головних напрямків реалізації природоохоронних технологій, спрямованих на захист атмосфери, є очистка газоподібних відходів перед їх викидом в атмосферу. Підприємства, установи, організації, діяльність яких пов'язана з негативним шкідливим впливом на атмосферне повітря, повинні вживати заходів щодо зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин і зниження шкідливого впливу фізичних і біологічних факторів, здійснювати контроль за обсягом та складом забруднюючих речовин, забезпечувати безперебійну та ефективну роботу очисного обладнання. Для знешкодження газових викидів застосовують сорбційні, хімічні і конденсаційні методи.

Даний навчальний посібник присвячений природоохоронним технологіям в галузі охорони атмосферного повітря. Для обґрунтування необхідності захисту повітряного басейну від забруднень розглядаються основні відомості про фізичні та хімічні властивості газоподібних та дисперсних забруднень, про шкоду, яку вони можуть нанести здоров'ю людини, рослинному та тваринному світу.

Детально описані різні методи вловлювання газоподібних і дисперсних викидів, основи вибору та розрахунку очисного обладнання. Наведена методика та приклади розрахунку розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі. Розглядаються питання раціонального розташування промислових підприємств та моніторингу довкілля. У посібнику наведені інженерні розрахунки захисту атмосферного повітря від забруднень промисловим пилом і газами, описані конкретні заходи для попередження і ліквідації негативних наслідків дії техногенних об'єктів на атмосферу і навколишнє середовище.

## ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ДО 1 РОЗДІЛУ

- $Q$  – витрати газу, м<sup>3</sup>/год, м<sup>3</sup>/с;  
 $V$  – швидкість газу, м/с;  
 $c', c''$  – концентрація шкідливих речовин в газах до і після очищення, г/м<sup>3</sup>, мг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_1, \rho_2$  – густина газу, частинок, кг/м<sup>3</sup>, г/см<sup>3</sup>;  
 $d_{\text{ч}}$  – діаметр частинок, мкм;  
 $d_{50}$  – діаметр частинок, що вловлюються в апараті на 50%;  
 $\omega_{\text{в}}$  – швидкість витання (осадження), м/с;  
 $\mu$  – динамічна в'язкість, Па·с;  
 $\nu$  – кінематична в'язкість, м<sup>2</sup>/с;  
 $T$  – абсолютна температура, К;  
 $t$  – температура, °С;  
 $P$  – тиск, Па;  
 $R_{\text{г}}$  – універсальна газова постійна, 8314 Дж/кмоль·К;  
 $\epsilon_0$  – діелектрична проникність, 8,85·10<sup>-12</sup> ф/м;  
 $\mu_{\text{ом}}$  – абсолютна магнітна проникність вакууму, 1,257·10<sup>-6</sup> г/м;  
 $e$  – величина заряду електрона 1,6·10<sup>-19</sup> Кл;  
 $g$  – прискорення сили ваги, 9,81 м/с<sup>2</sup>;  
 $K_{\text{Б}}$  – стала Больцмана, 1,38·10<sup>-23</sup> Дж/кмоль·К;  
 $E$  – напруженість електричного поля, В/м;  
 $q$  – величина електричного заряду, Кл;  
 $H$  – напруженість магнітного поля, А/м;  
 $F$  – сила, Н;  
 $L, l$  – довжина, лінійний параметр, м;  
 $S$  – площа, м<sup>2</sup>;  
 $\tau$  – час, с;  
 $M$  – маса 1 кмоль, кг/моль;  
 $C_{\text{к}}$  – поправка Кенінгема-Міллікена;  
 $\eta$  – ефективність пиловловлювання;  
 $\xi$  – коефіцієнт опору;  
 $\phi$  – відносна вологість, %.

# 1 ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРОМИСЛОВОГО ПИЛУ І ГАЗІВ

## 1.1 Природа атмосферних забруднювачів

Забруднення повітря може бути природним або виникати внаслідок діяльності людини. Природне забруднення обумовлено ерозією ґрунтів, виверженням вулканів, виходом на поверхню підземних газів тощо. Забруднення атмосфери внаслідок діяльності людини виникає або при спалюванні вуглевмісних речовин – вугілля і продуктів його переробки, нафти і деревини або як відходи виробництва хімічних речовин і цементу, металургійної та гірничодобувної промисловості, а також при спалюванні побутових відходів. На рис. 1.1 наведені головні джерела та основні компоненти забруднень повітряного басейну.

Таким чином, кожне промислове підприємство чинить певну дію на навколишнє середовище. В основному в атмосферу надходять газоподібні речовини, які можна розглядати як продукт обміну між виробництвом і повітряним басейном. Більшою чи меншою мірою такий обмін характерний для будь-якого промислового підприємства (рис. 1.2).

Найбільш важливими компонентами з кількісної точки зору є як газоподібні продукти згорання  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , так і пиловидна летка зола, яка складається в основному з неорганічних речовин, та незгорілий вуглець.

Нарівні з газоподібним забрудненням велику проблему при очищенні газів і охороні повітряного басейну створюють дрібні частинки твердих речовин та краплини туману. Дими, які утворюються при виробництві та рафінуванні низькоплавких металів, таких як свинець, миш'як, берилій, кадмій і цинк, надзвичайно отруйні, тому їх очищення необхідно проводити особливо старанно. Вміст кислотних туманів, наприклад, що утворюються при виробництві сірчаної чи фосфорної кислоти, дуже часто обмежується законодавством. Звичайно в таких цехах встановлюється ефективне газоочисне обладнання.

Тверді частинки і рідкі краплини мають різні назви: зола (гріт), пил, дим, туман, кіптява, аерозоль чи смог. В табл. 1.1 наведена класифікація атмосферних забруднень та їх розподіл за різними категоріями залежно від приблизних розмірів, основних методів визначення розмірів та візуального ефекту наявних частинок [1-6].

## 1.2 Основні властивості пилу

**1.2.1 Густина пилу.**  $d_v$ ,  $\text{кг/м}^3$ ,  $\text{г/см}^3$  є найважливішою характеристикою пилу і золи. Розрізняють дійсну, насипну та уявну густини. Насипна густина (на відміну від дійсної) враховує повітряний

прошарок між частинками пилу. При злежуванні насипна густина збільшується в 1,2...1,5 раза.

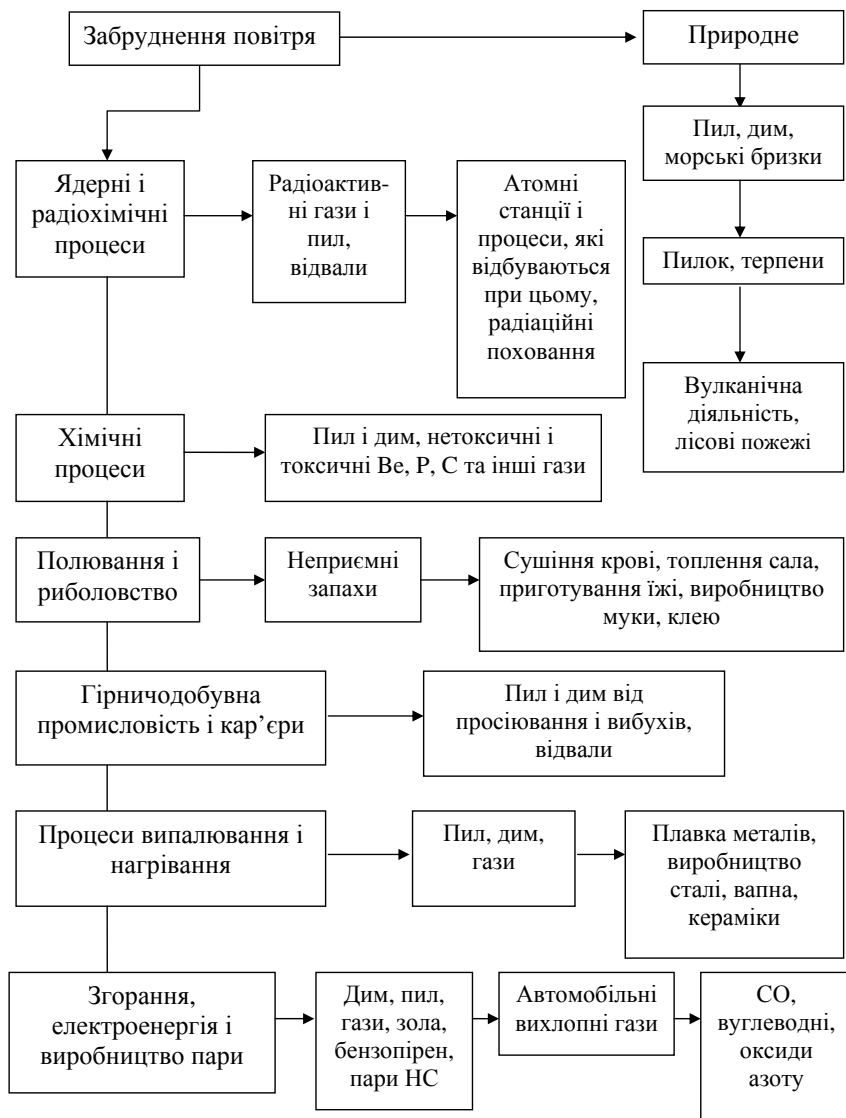


Рисунок 1.1 – Джерела забруднення повітря

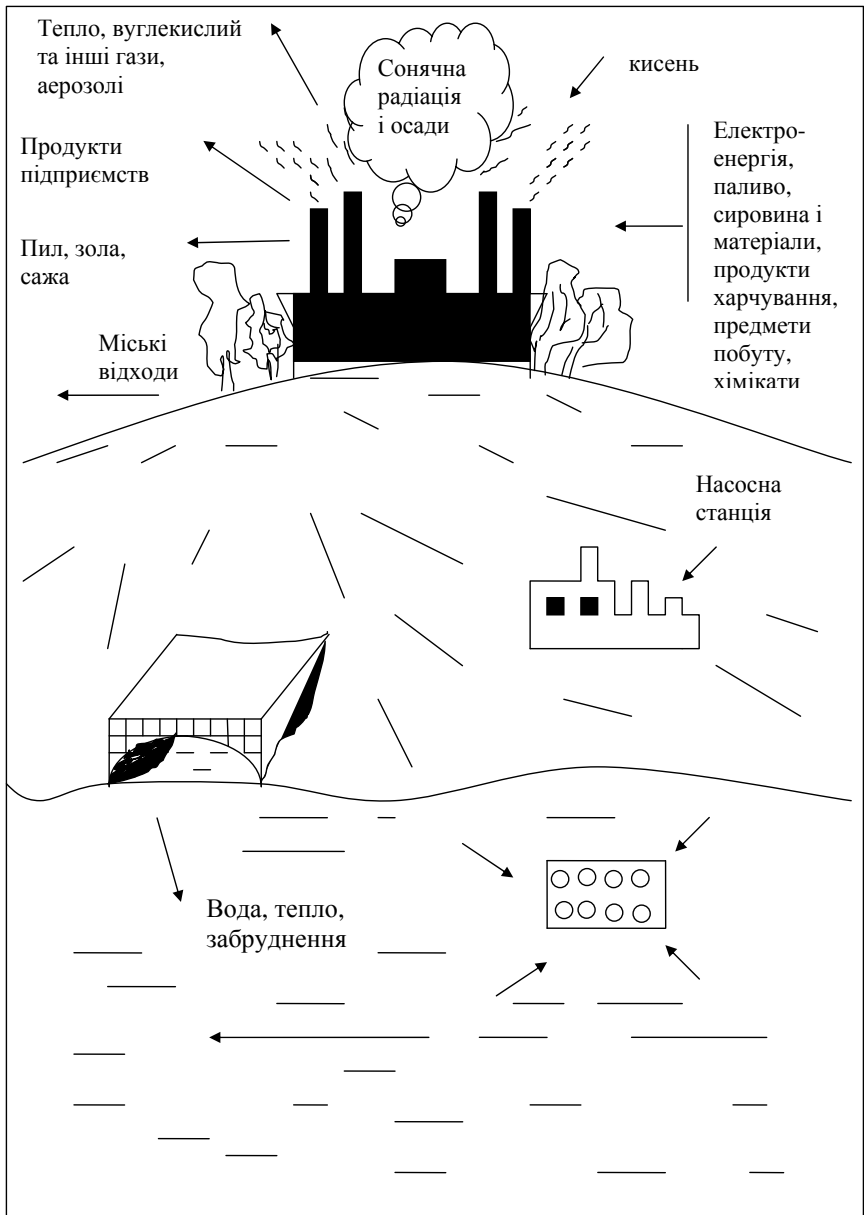


Рисунок 1.2 – Взаємообмін між виробництвом і природою

Таблиця 1.1 – Класифікація атмосферних забруднень за розмірами частинок

<b>Назва атмосферних забруднень</b>	<b>Розміри</b>
<i>Зола</i>	Великі частинки, розміром більше 75 мкм
<i>Пил</i>	Частинки розміром менше 75 мкм і більше 1 мкм
<i>Туман</i>	Рідкі частинки, звичайно менші 10 мкм
<i>Дим</i>	Тверді частинки, звичайно менші 1 мкм
<i>Імла (фог)</i>	Тумани деколи називають фогом (імлою), якщо вони досить густі та сильно погіршують видимість
<i>Кіптява</i>	Летка зола, продукти неповного згорання у рідкому або твердому стані
<i>Смог</i>	Смог (англ. smoke – дим і fog – імла) – ідкий туман у приземному шарі повітря, який складається з дуже дрібних крапель кислот та інших речовин
<i>Сажа</i>	Злиплі частинки незгорівшого вугілля, які утворюються при неповному згоранні
<i>Аерозолі</i>	Будь-які суспензії в повітрі (раніше так називали дрібнодисперсні суспензії, відносно стабільні в повітрі)

Уявна (об'ємна) густина – відношення маси частинок до об'єму, який вона займає, включаючи пори, пустоти і нерівності. Гладенькі монолітні частинки мають густину, практично збіжну з дійсною. Пили, схильні до коагулювання і спікання, знижують уявну густину відносно дійсної.

**1.2.2 Дисперсність.** Дисперсність – характеризує розмір частинок пилу – є основним фактором при виборі пиловловлювача.

Частинки промислового пилу мають різну форму (кульки, палички, пластинки, голки, волокна тощо). Частинки пилу можуть коагулювати і об'єднуватися в агломерати, тому поняття розміру частинок умовне. В пиловловлюванні прийнято характеризувати частинки величиною, яка визначає швидкість їх осаджування. Такою величиною служить седиментаційний діаметр – діаметр кулі, швидкість осаджування і густина якої рівні швидкості осаджування і густині частинки. При цьому сама частинка має довільну форму. Пилові частинки різної форми при одній і тій же масі осідають з різною швидкістю. Чим ближча їх форма до сферичної, тим швидше вони осідають.

Найбільший і найменший розміри частинок характеризують діапазон дисперсності даного пилу. Для характеристики дисперсного складу пилу розбивають всю масу пилинок на деякі фракції, обмежені частинками певного розміру із вказанням, яку частку у відсотках за масою (чи за кількістю частинок) вони складають.

Дисперсний склад пилу зображується у вигляді інтегральних кривих. Більшість промислового пилу підлягає логарифмічно-нормальному закону розподілу (ЛНР) частинок за розміром [6-12]:

$$M(d_q) = \frac{100}{\lg\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lg d_q} e^{-\frac{\lg^2(d_q/d_{50})}{2\lg^2\sigma}} d\lg d_q, \quad (1.1)$$

де  $M(d_q)$  – відносна частка частинок розміром не менше  $d_q$ , %;

$d_{50}$  – медіанний розмір частинок, при якому частка частинок розміром більше і менше  $d_{50}$  рівні;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення у функції даного розподілу.

Графіки нормально-логарифмічного розподілення будують в ймовірно-логарифмічній системі координат, поточний розмір частинок відкладають на осі абсцис, а на осі ординат – відносну частку частинок із розмірами менше  $d_q$ . Шкалу осі абсцис будують за логарифмом діаметра частинок, а осі ординат – вирахуванням кожного із значень шкали за формулою:

$$100 - M(d_q) = 100/\sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^y e^{-y^2/2} dy, \quad (1.2)$$



де  $y = \lg(d_q/d_{50}) \lg \sigma$ .

Якщо в цій системі координат інтегральне розподілення частинок за розмірами описується прямою лінією, то дане розподілення підлягає ЛНР. В такому випадку  $d_{50}$  знаходять як абсцису точки графіка, ордината якої рівна 50%, а  $\lg \sigma$  – з формули

$$\lg \sigma = \lg d_{84,1} - \lg d_{50} \quad (1.3)$$

Для характеристики пилу достатньо мати два параметри:  $d_{50}$  і  $\lg \sigma$ . Значення  $d_{50}$  дає середній розмір частинок, а  $\lg \sigma$  – ступінь полідисперсності пилу. В табл. 1.2 наведені значення  $d_{50}$  і  $\lg \sigma$  для деякого пилу.

Таблиця 1.2 – Дисперсний склад пилу, утворюваного при деяких технологічних процесах

Технологічний процес	Вид пилу	$d_{50}$ , мкм	$\lg \sigma$
Заточка інструменту	Метал, абразив	38	0,214
Розмелення в кульовому млині	Цемент	20	0,468
Сушіння вугілля в барабані	Кам'яне вугілля	15	0,334
Експериментальні дослідження	Кварцовий пил	3,7	0,405
Електролізер алюмінію	Окисли алюмінію	20	0,352
Обертova піч випалювання	Магnezит	43	0,615
Розпилення у сушарці	Подвійний суперфосфат	80	0,210

За дисперсністю пил поділяють на 5 груп:  
 I – дуже високодисперсний,  $d_{50} > 140$  мкм;  
 II – великодисперсний,  $d_{50} = 40 \dots 140$  мкм;  
 III – середньодисперсний,  $d_{50} = 10 \dots 40$  мкм;  
 IV – дрібnodисперсний,  $d_{50} = 1 \dots 10$  мкм;  
 V – дуже дрібnodисперсний,  $d_{50} < 1$  мкм.

Крім стоксовського (опір кулі залежить від діаметра при русі у в'язку середовищі) діаметра частинок, в техніці пиловловлювання використовується аеродинамічний діаметр частинки  $\delta_{\text{ча}}$ , що характеризує діаметр сфери, швидкість осаджування якої відповідає швидкості осаджування (седиментації) частинки густиною  $1000 \text{ кг/м}^3$ . Величина  $\delta_{\text{ча}}$  може бути визначена із співвідношення

$$\delta_{\text{ча}} = \delta_{\text{ч}} (\rho_{\text{ч}} C_{\text{к}})^{1/2}, \quad (1.3)$$

де  $\rho_{\text{ч}}$  – густина частинок,  $\text{кг/м}^3$ ;

$C_{\text{к}}$  – поправка Кенінгема-Міллікена [5-7]. Деколи розмір частинок характеризують швидкістю витання,  $\omega_{\text{в}}$  м/с, яка є швидкістю вільного падіння частинок в нерухомому повітрі. Номограма для визначення стоксовського діаметра частинок за швидкістю їх витання наведена на рис. 1.3.

**1.2.3 Адгезійні властивості.** Частинки мають схильність до злипання. Підвищена злипливість частинок може привести до часткового чи повного забивання апаратів.

Чим менший розмір частинок пилу, тим легше вони прилипають до поверхні апарата. Пил, у якого 60..70% частинок мають діаметр 10 мкм і менше поводить себе як злипливий, хоча той же пил з розміром частинок більше 10 мкм має добру сипучість. За злипанням пил поділяється на 4 групи (табл. 1.3). Зі злипливістю тісно пов'язана друга характеристика пилу – його сипучість. Сипучість пилу оцінюється за кутом природного укусу, який набирає пил в свіжонасипаному стані.

**1.2.4 Абразивність.** Абразивність частинок характеризує інтенсивність зношування металу при однакових швидкостях газів і концентраціях пилу. Вона залежить від твердості, форми, розміру і густини частинок. Абразивність золи чи пилу враховують при виборі швидкостей запилених потоків, товщини металу для виготовлення газоходів і газоочисних установок чи виборі для них облицювальних матеріалів. Максимальне зношування металів спричиняють частинки золи з розмірами  $90 \pm 2$  мкм.

**1.2.5 Змочуваність.** Змочуваність частинок впливає на ефективність мокрих пиловловлювачів, особливо при роботі з рециркуляцією. При дотику поганозмочуваної частинки з поверхнею рідини частинка захоплюється цією поверхнею, але на протилежність легкозмочуваної не занурюється в рідину чи не обволікається краплиною рідини, а залишається на її поверхні. Після того, як поверхня рідини виявляється значно покритою захопленими нею частинками, очищення газів погіршується, тому що знову підведені до поверхні рідини частинки внаслідок пружних співударень з раніше захопленими можуть повернутися в потік газу і виявитися невловленими. Гладенькі частинки змочуються

краще, ніж частинки з нерівною поверхнею. Це визначається тим, що останні більше покриваються абсорбованою газовою оболонкою, яка утрудняє змочування. За характером змочування всі тверді тіла поділяють на три основні групи:

- *гідрофільні матеріали* – легкозмочувані: кальцій, кварц, більшість силікатів і окислених мінералів, галогени лужних металів;
- *гідрофобні матеріали* – поганозмочувані: граніт, вугілля, сірка;
- *абсолютно гідрофобні*: парафін, тефлон, бітуми.

Таблиця 1.3 – Злипання деяких видів золи і пилу

Група злипання Розривна міцність за Є. І. Адріановим, Па	Найменування золи і пилу
I. Незлипливі, $P \leq 60$	Шлаковий пил, глиноземний пил, доломітовий пил, шамотний пил
II. Слабозлипливі, $60 < P < 300$	Летка зола з недопаленням більше 30% при пиловидному спалюванні кам'яного вугілля, летка зола при шаровому спалюванні будь-якого вугілля, коксовий пил, магнезитовий пил, сланцева зола, доменний пил (після первинних пилоосаджувачів), апатитовий сухий пил
III. Середньозлипливі, $300 < P < 600$	Летка зола без недопалення, торф'яна зола, марганцевий пил – пил концентратів кольорової металургії і залізного колчедану, пил окису цинку, свинцю, олова (попередньо скоагульованого), вологий магнезитовий пил, сухий цемент
IV. Сильнозлипливі, $P > 600$	Цементний пил, який випав з повітря з великим вологовмістом; гіпсовий і алебастровий пил; пил глини, каоліну і мергелю (дрібна), недогарковий пил при $500^{\circ}\text{C}$ , мучний пил, волокнистий пил (азбест, бавовна, шерсть); пил, що вміщує великі домішки (після відсіювання зерна тощо), зола антрацитового штибу з недопаленням менше 25%, пил з максимальною величиною частинок 10 мкм

**1.2.6 Гігроскопічність частинок.** Гігроскопічність полягає у здатності пилу всмоктувати вологу. Залежить від хімічного складу, розміру, форми і ступеня шорсткості поверхні частинок. Гігроскопічність сприяє їх вловлюванню в апаратах мокрого типу.

**1.2.7 Електрична провідність.** Електрична провідність пилу оцінюється за питомим електричним опором шару пилу  $\rho_{ш}$ , Ом·см, який залежить від властивостей окремих частинок (від поверхневої та внутрішньої електропровідності, форми і розмірів частинок), а також від структури шару і параметрів газового потоку. Електрична провідність істотно впливає на роботу електрофільтрів.

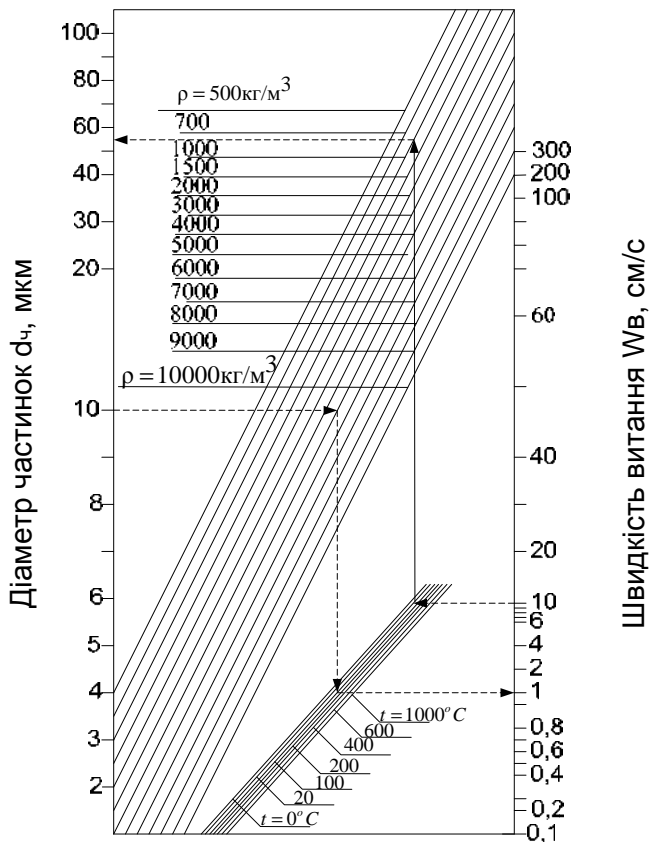


Рисунок 1.3 – Номограма для визначення швидкості витання в повітрі частинок пилу розміром до 100 мкм

Залежно від питомого електричного опору пил поділяють на три групи:

- *низькоомний пил* з  $\rho_{ш} < 10$  Ом·см. При осаджуванні на електроди

частинки пилу миттєво розряджаються, що може привести до вторинного виносу;

- пил з  $\rho_{\text{ш}} = 10^4 \dots 10^{10}$  Ом·см. Цей пил добре вловлюється в електрофільтрі, тому що розрядження частинок проходить не одразу, а протягом часу, необхідного для накопичення шару;

- пил з  $\rho_{\text{ш}} > 10^{10} \dots 10^{13}$  Ом·см. Вловлювання пилу цієї групи в електрофільтрах викликає великі труднощі. Частинки пилу цієї групи утворюють на електроді пористий ізолювальний шар [13-15].

**1.2.8 Електрична зарядженість.** Електрична зарядженість частинок впливає на їх поведінку в газоходах і пиловловлювальних апаратах, на вибухонебезпечність і адгезійні властивості, в тому числі на сипучість пилу. Знак заряду частинок залежить від способу їх утворення, хімічного складу, а також від властивостей речовин, з якими вони стикаються.

**1.2.9 Здатність до самозаймання.** Здатність до самозаймання і утворення вибухонебезпечних сумішей з повітрям залежить від хімічних і термічних властивостей пилу, від розмірів і форми частинок, їх концентрації в повітрі, від вологовмісту і складу газів, розмірів температури джерела загоряння і відносного вмісту інертного пилу. Здатність до самозаймання мають деякі пили органічних речовин, які утворюються при переробленні барвників, пластмас, волокон, а також пили металів: магнію, алюмінію і цинку.

Мінімальні вибухонебезпечні концентрації завислого в повітрі пилу – приблизно  $20 \dots 500$  г/м<sup>3</sup>, максимальні –  $700 \dots 800$  г/м<sup>3</sup>. Чим більший вміст кисню в газовій суміші, тим можливіший вибух і більша його сила. При вмісті кисню менше 16% пилова хмара не вибухає.

### 1.3 Ефективність вловлювання пилу

Ступінь очищення (коефіцієнт корисної дії) виражається відношенням кількості вловленого матеріалу до кількості матеріалу, який надійшов в газоочисний апарат з газовим потоком за певний період часу.

Ефективність очищення  $\eta$  визначають за формулою

$$\eta = \frac{\sigma'_q - \sigma''_q}{\sigma'_q} = \frac{Q'c' - Q''c''}{Q'c'} = 1 - \frac{Q''c''}{Q'c'} = \frac{\sigma''_q}{\sigma'_q} \quad (1.4)$$

де  $\sigma'_q$ ,  $\sigma''_q$  – масові витрати частинок пилу, що вміщуються в газах, які відповідно надходять і виходять з апарата, кг/с;

$Q'$ ,  $Q''$  – об'ємні витрати газів (при 0°C і 101,3 кПа), які відповідно надходять і виходять з апарата, м<sup>3</sup>/с;

$c'$ ,  $c''$  – концентрації частинок пилу в газах, які відповідно надходять в апарат і виходять з апарата, кг/м<sup>3</sup>;

Шановний читачу!

Умови придбання надрукованих примірників монографії наведені на сайті видавництва <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-478-9>

Уважаемый читатель!

Условия приобретения печатных экземпляров монографии приведены на сайте издательства <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-478-9>

Dear reader!

You may order this monograph at the Web page  
<http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-478-9>

*Навчальне видання*

**Северин Леонід Іванович  
Петрук Василь Григорович  
Безвозюк Ірина Іванівна  
Васильківський Ігор Володимирович**

## **ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ**

**Частина перша**

**Захист атмосфери**

Навчальний посібник

Редактор О. Скалоцька

Оригінал-макет підготовлено І. Васильківським

Підписано до друку 27.07.2012 р.  
Формат 29.7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 25,4.  
Наклад 300 (1-й запуск 1-100) прим. Зам. № 2012-111.

Вінницький національний технічний університет,  
навчально-методичний відділ ВНТУ.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к.114.  
Тел. (0432) 59-85-32.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к.114.  
Тел. (0432) 59-87-38  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.