

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

П 77

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

П 77 **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 Захоплювання 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 Дифузійофорез.....	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 ρ 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 SO_2 , SO_3 , H_2S , NH_3 , CO , CO_2 , оксиди Нітрогену, бензапірен, сполуки Хлору, Флуору, вуглеводні. Серед промислових аерозолів – зустрічається вугільний пил, зола, сульфати та сульфіди 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 (HCl , H_2SO_4 , 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, м³/год, м³/с;
 V – швидкість газу, м/с;
 \tilde{n}' , \tilde{n}'' – концентрація шкідливих речовин в газах до і після очищення, г/м³, мг/м³;
 ρ_1 , ρ_2 – густина газу, частинок, кг/м³, г/см³;
 d_{\perp} – діаметр частинок, мкм;
 d_{50} – діаметр частинок, що вловлюються в апараті на 50%;
 ω_a – швидкість витання (осадження), м/с;
 μ – динамічна в'язкість, Па·с;
 ν – кінематична в'язкість, м²/с;
 \dot{O} – абсолютна температура, К;
 t – температура, °С;
 P – тиск, Па;
 R_r – універсальна газова постійна, 8314 Дж/кмоль·К;
 ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму, 8,85·10⁻¹² Ф/м;
 μ_{i1} – магнітна проникність вакууму, 1,257·10⁻⁶ Г/м;
 \check{a} – величина заряду електрона 1,6·10⁻¹⁹ Кл;
 g – прискорення сили ваги, 9,81 м/с²;
 \hat{E}_A – стала Больцмана, 1,38·10⁻²³ Дж/кмоль·К;
 \mathring{A} – 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, м²;
 τ – час, с;
 M – маса 1 кмоль, кг/моль;
 C_e – поправка Кенінгема-Міллікена;
 η – ефективність пиловловлювання;
 ξ – коефіцієнт опору;
 ϕ – 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 вуглеводневих 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 CO, CO₂, SO₂, SO₃, 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_p , кг/м³, г/см³ 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 рази.

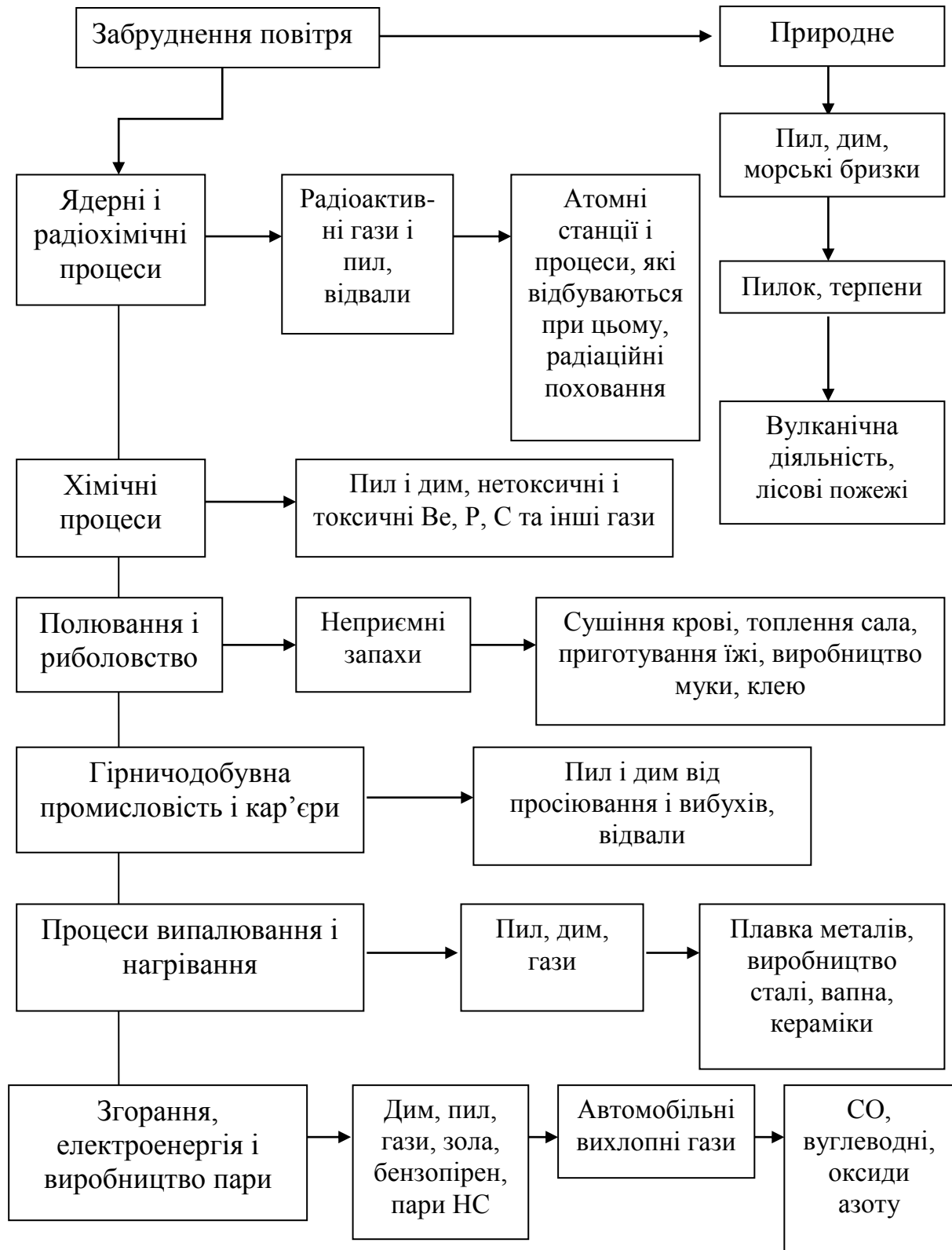


Рисунок 1.1 – Джерела забруднення повітря

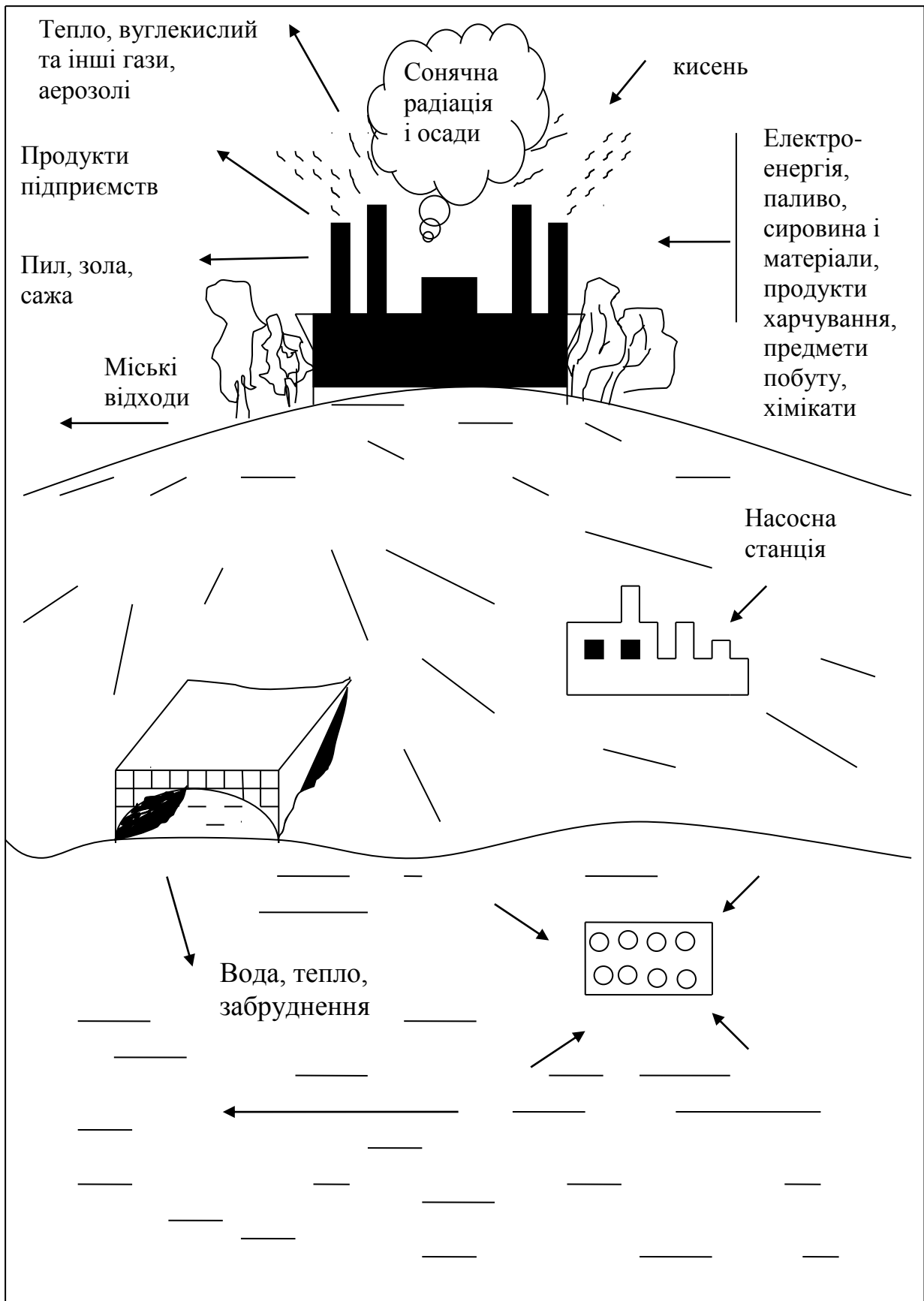


Рисунок 1.2 – Взаємообмін між виробництвом і природою

Таблиця 1.1 – Класифікація атмосферних забруднень за розмірами частинок

Назва атмосферних забруднень	Розміри
<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 (імлюю), 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) – їдкий туман у приземному шарі повітря, який складається з дуже дрібних крапель кислот та інших речовин
<i>Сажка</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]:

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

де $M(d_{\pm})$ – відносна частка частинок розміром не менше d_{\pm} , %;

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

σ – 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_{\pm} . Шкалу осі абсцис будують за логарифмом діаметра частинок, а осі ординат – вирахуванням кожного із значень шкали за формулою:

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

де $y = \lg(d_x/d_{50}) \lg \sigma$.

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, утвореного 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
Обертова піч випалювання	Магнезит	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 – дрібнодисперсний, $d_{50} = 1 \dots 10$ мкм;

V – дуже дрібнодисперсний, $d_{50} < 1$ мкм.

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

$$\delta_{\dot{a}} = \delta_{\dot{r}} (\rho_{\dot{r}} C_{\kappa})^{1/2}, \quad (1.3)$$

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

\tilde{N}_e – поправка Кенінгема-Міллікена [5-7]. Деколи розмір частинок характеризують швидкістю витання, ω_a 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 ± 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°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 ρ_0 , 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.

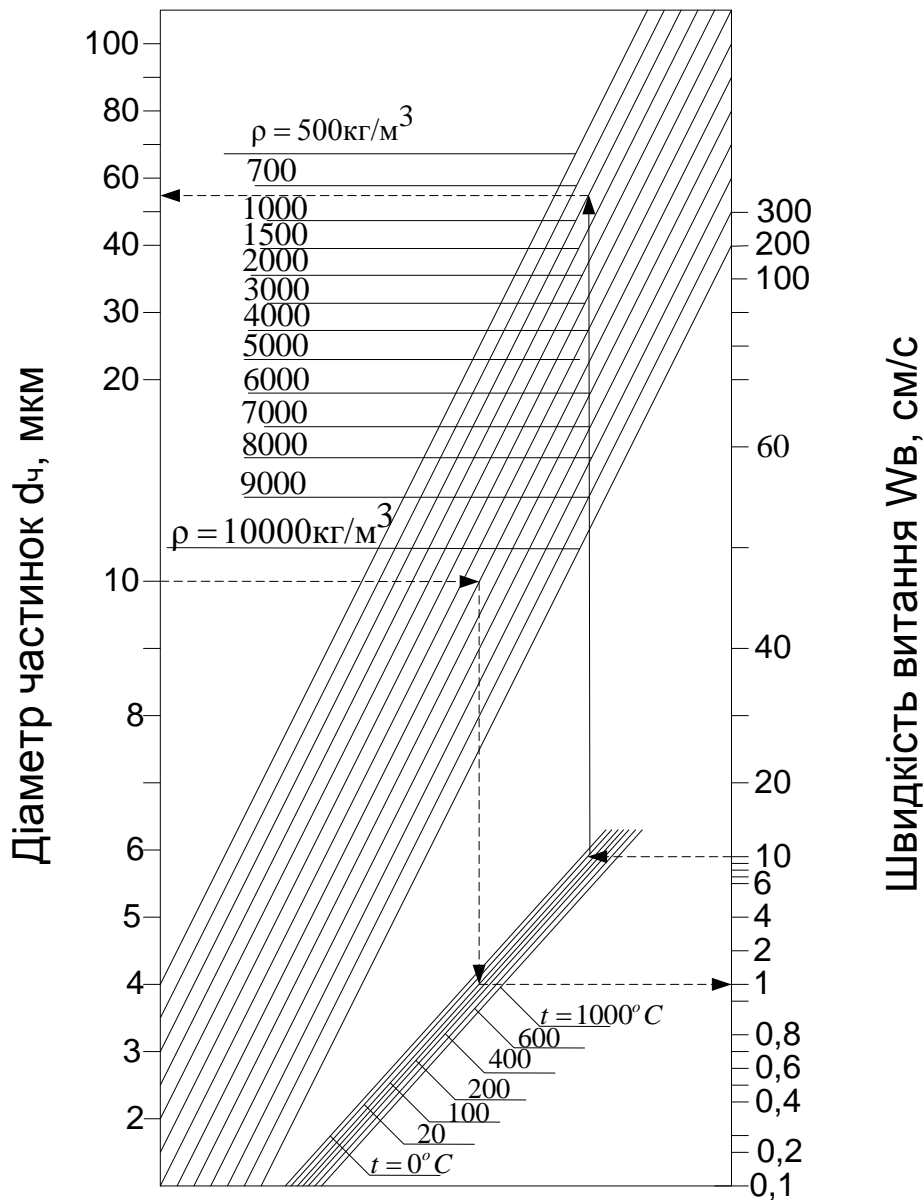


Рисунок 1.3 – Номограма для визначення швидкості витання в повітрі частинок пилу розміром до 100 мкм

Залежно від питомого електричного опору пил поділяють на три групи:

- *низькоомний пил* з $\rho_0 < 10$ Ом·см. При осаджуванні на електроди

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

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

- пил з $\rho_{\phi} > 10^{10} \dots 10^{13}$ 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...500 г/м³, максимальні – 700...800 г/м³. 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 η визначають за формулою

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

де $\sigma'_{\ddot{z}}$, $\sigma''_{\ddot{z}}$ – 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, м³/с;

c' , c'' – концентрації частинок пилу в газах, які відповідно надходять в апарат і виходять з апарата, кг/м³;

σ''' – кількість вловленого пилу, кг/с.

Якщо об'єм газів в процесі очищення змінюється, наприклад, за рахунок підсмоктування, то ефективність

$$\eta = 1 - K_i \frac{c''}{c'}, \quad (1.5)$$

де \hat{E}_i – коефіцієнт підсмоктування.

Відомо, що ефективність очищення для частинок пилу різних розмірів неоднакова. Тому коефіцієнт очищення газів часто визначають за фракційною ефективністю – ступенем очищення газів від частинок певного розміру.

Фракційна ефективність

$$\eta_{\hat{o}} = [\Phi' - \Phi''(1 - \eta)], \quad (1.6)$$

де \hat{O}', \hat{O}'' – вміст фракцій в газах відповідно на вході та виході апарата, %.

Знаючи фракційний ступінь очищення газів, можна визначити загальну ефективність апарата:

$$\eta = \frac{\eta_{\hat{o}_1} \hat{O}_1}{100} + \frac{\eta_{\hat{o}_2} \hat{O}_2}{100} + \dots + \frac{\eta_{\hat{o}_n} \hat{O}_n}{100}. \quad (1.7)$$

Ефективність вловлювання пилу може бути виражена у вигляді *коефіцієнта пропускання* частинок (ступеня неповного вловлювання) – відношення концентрації частинок за апаратом до їх концентрації перед ним. Його використовують, коли треба оцінити кінцеву запиленість чи порівняти відносну запиленість газів на виході з різних апаратів [15-18].

Коефіцієнт пропускання P розраховують за формулою:

$$P = 1 - \eta. \quad (1.8)$$

Сумарний ступінь очищення газів декількох послідовно встановлених апаратів, розраховується за формулою:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n), \quad (1.9)$$

де $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ – ступінь очищення газів від пилу відповідно в першому, другому і n-му апараті.

1.4 Основні властивості газів

1.4.1 Густина і в'язкість. Густина і в'язкість газів в основному впливають на роботу системи пило- і золовловлювання. Для нормальних умов (температура $T_0 = 273$ К і абсолютного тиску $P_0 = 0,101$ мПа) значення густини ρ_0 і динамічного коефіцієнта в'язкості μ_0 газів, які часто зустрічаються, наведені в додатку Д. Динамічний коефіцієнт в'язкості μ часто називають просто в'язкістю. Поряд з динамічним коефіцієнтом в'язкості деколи користуються кінематичним коефіцієнтом в'язкості, м²/с:

$$V = \mu / \rho. \quad (1.10)$$

Густина газів, кг/м³, які знаходяться в умовах, відмінних від нормальних, визначається зі співвідношення:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 P}{P_0 T}, \quad (1.11)$$

де P і T – дійсні значення абсолютного тиску, кПа, і температури газів, °К, відповідно.

Густина суміші газів, яка знаходиться при нормальних умовах і складається з декількох компонентів, концентрація яких в об'ємних частках складає a, b, c, \dots, n , можна визначити зі співвідношення:

$$\rho_{\text{м}} = \frac{a\rho^a + b\rho^b + c\rho^c + \dots + n\rho^n}{100}, \quad (1.12)$$

В'язкість газів, як і густина, залежить від тиску і температури. Але при невеликих тисках і розрідженнях приблизно до 200 Па, в'язкість газів змінюється мало і її можна вважати практично незалежною від тиску. Залежність в'язкості, Па·с, від температури приблизно виражається формулою Сезерленда:

$$\mu = \mu_0 \frac{T_0 + C}{T + C} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2}, \quad (1.13)$$

де значення сталої C , визначеної експериментально, наведені в додатку Б.

Густина і в'язкість димових газів, які утворюються при спалюванні енергетичних видів палива, з достатньою для практичних розрахунків

точністю можуть бути прийняті рівними густині та в'язкості повітря, яке знаходиться в однакових за температурою і тиском умовах.

Густина вологих парів при відомому абсолютному вологовмісту D , кг/кг сухого газу, може бути визначена за формулою:

$$\rho_{\text{оâî è}} = \frac{1+D}{1/\rho_{\text{нóó}} + D/0,804}, \quad (1.14)$$

де 0,804 – густина водяних парів при нормальних умовах, кг/м³;

1.4.2 Вологість газів. Утримувана в газах, які підлягають очищенню, волога може приводити до налипання пилу і корозії стінок пиловловлювача, особливо при роботі на газах, які мають температуру, близьку до температури утворення конденсату. Таку температуру називають температурою точки роси чи просто точкою роси t_p , °С.

Вміст вологи в газі може характеризуватися такими величинами:

- концентрацією водяних парів D , кг/кг сухого газу (абсолютний вологовміст газу);

- концентрацією водяних парів f' , г/м³ вологого газу при нормальних умовах або f'' , г/м³ вологого пару при дійсних умовах;

- значенням парціального тиску водяних парів P_w , Па;

- звичайним процентом, який рівний $P_w/P_{\text{çââ}} \cdot 100$, де $P_{\text{çââ}}$ – загальний тиск даного газу; він рівний барометричному \pm тиск (розрідження) в апараті (Ð);

- ступенем наближення до насиченого стану при даних умовах, тобто відносною вологістю ϕ , %.

Відносна вологість – це відношення маси водяних парів, які утримуються в 1 м³ вологого газу, до маси водяної пари, яка може утримуватися в 1 м³ газу в стані насичення при тих же умовах, тобто

$$\phi = f''/f''_{\text{îâî}}. \quad (1.15)$$

При розрахунках, пов'язаних з пиловловлюванням, часто користуються величинами вологовмісту і відносної вологості.

Для вирішення питань, пов'язаних з проектуванням чи експлуатацією систем пиловловлювання, найбільший інтерес викликає точка роси очищуваних газів.

Точка роси димових газів, які утворюються при спалюванні малосірчаних палив і які мають тиск, близький до барометричного, з достатньою точністю може бути визначена за їх діаграмою, побудованою для вологого повітря [18, 20-30, 42].

1.4.3 Питома теплоємність газів. C – кількість теплоти, яку необхідно надати одиниці кількості газу для нагрівання на 1°С залежить

від тиску (теплоємність C_p) і об'єму (теплоємність C_v). Проте в тих інтервалах температури і тиску, з якими приходиться зустрічатися в техніці пило- і золовловлювання, ця залежність достатньо мала і, як правило, не враховується.

1.4.4 Ентальпія газів. Ентальпія газів i – кількість теплоти, яку необхідно підвести до 1 кг газу при постійному тиску, щоб підвищити його температуру від 0 °С до заданого значення температури

$$i=C_p \cdot t. \quad (1.16)$$

1.5 Фізичні основи пиловловлювання

Робота будь-якого пиловловлювального апарата заснована на використанні одного або декількох механізмів осаджування завислих в газах частинок [18].

Гравітаційне осадження (седиментація) відбувається внаслідок вертикального осідання частинок під дією сили ваги при проходженні їх через газоочисний апарат.

Осадження під дією відцентрової сили відмічається при криволінійному русі аеродинамічного потоку, коли розвиваються відцентрові сили, під дією яких частинки відкидаються на поверхню осадження.

Інерційне осадження відбувається в тому випадку, коли маса частинки чи швидкість її руху настільки значні, що вона не може слідувати разом з газом за лінією течії, яка охоплює перешкоду, а, пориваючись за інерцією продовжити свій рух, стикається з перешкодою і осаджується на ній.

Зачеплення (ефект дотику) спостерігається, коли відстань частинки, яка рухається з газовим потоком, від обтічного тіла дорівнює або менше її радіуса.

Дифузійне осадження. Дрібні частинки зазнають безперервну дію молекул газу, які знаходяться в броунівському русі, внаслідок якого можливе осадження цих частинок на поверхні обтічних тіл чи стінок апарата.

Електричне осадження. В процесі іонізації газових молекул електричним розрядом відбувається зарядження частинок, які містяться в газах, а потім під дією електричного поля вони осаджуються на електродах. Електричне осадження можливе і при взаємодії частинок з краплинами (чи бульбашками). Причому електричні заряди можуть бути підведені до частинок, до зрошувальної рідини чи одночасно і до частинок, і до рідини. Електричне осадження частинок може відбуватися і при проходженні аерозолі через фільтрувальні перегородки.

Крім вказаних вище основних механізмів осадження, можна перерахувати і ряд інших: *термофорез, дифузіофорез, фотофорез, вплив магнітного поля, радіометричних сил* тощо.

Вплив того чи іншого механізму на осадження частинок визначається цілим рядом факторів, і в першу чергу, їх розміром.

1.5.1 Гравітаційне осадження частинок. В апаратах, які використовують цей принцип вловлювання пилу, осадження завислих частинок відбувається під дією сили ваги (гравітації). При падінні частинка пилу знає опору середовища. Найпростіше цей опір описується при прямолінійному і рівномірному русі кульової частинки, тобто в тому випадку, коли можна знехтувати турбулентністю потоку і конвенційними течіями.

Сила опору, що діє на частинку при її русі F , H , може бути виражена рівнянням:

$$F = \xi_{\pm} \cdot S_{\pm} \cdot \frac{V_{\pm}^2 \rho}{2}, \quad (1.17)$$

де ξ – коефіцієнт опору середовища;

S_{\pm} – площа перерізу частинки, перпендикулярного до напрямку руху, m^2 ;

V_{\pm} – швидкість руху частинки, m/s ;

ρ – густина газу, kg/m^3 .

У випадку кульової частинки $S_{\pm} = \pi d_{\pm}^2 / 4$,

де d_{\pm} – діаметр частинки, m .

$$F = \xi_{\pm} \frac{\pi d_{\pm}^2}{8} V_{\pm}^2 \rho. \quad (1.18)$$

Коефіцієнт ξ залежить від критерію Рейнольдса для частинки

$$R_{e_{\pm}} = \frac{V_{\pm} d_{\pm} \rho_{\pm}}{\mu_{\pm}}, \quad (1.19)$$

де μ_{\pm} – динамічна в'язкість газів, $Pa \cdot s$.

Ця залежність наведена на рис. 1.4.

Існує три різних режими руху кулеподібної частинки, кожному з яких відповідає певний характер залежності ξ від числа Рейнольдса. Так, для ділянок з ламінарним, турбулентним і перехідним режимами ($R_e \leq 2$; $R_e > 500$ і $R_e < 500$) відповідно $\xi = 24/R_e$; $\xi = 0,44$; $\xi = 18,5/R_e$. На ділянці

з ламінарним режимом руху для частинок сферичної форми опір середовища описується законом Стокса:

$$F = \frac{24\mu_{\dot{\nu}}}{V_{\dot{\nu}}d_{\dot{\nu}}\rho_{\dot{\nu}}} \cdot \frac{\pi d_{\dot{\nu}}^2}{4} \cdot \frac{V_{\dot{\nu}}^2 \rho_{\dot{\nu}}}{2} = 3\pi d_{\dot{\nu}} \mu_{\dot{\nu}} V_{\dot{\nu}}. \quad (1.20)$$

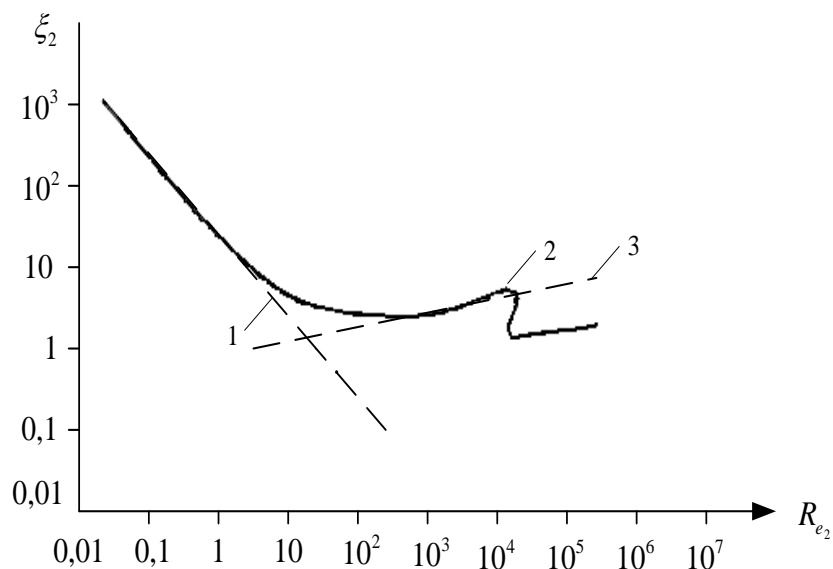


Рисунок 1.4 – Залежність коефіцієнта лобового опору кульової частинки ξ від критерію $R_{e_{\dot{\nu}}}$:

1 – область дії закону Стокса; 2 – стандартна крива; 3 – область дії формули Ньютона

Для частинок розміром 0,2...2,0 мкм в рівняння (1.20) вводиться поправка Кенінгема-Мілікена, яка враховує підвищену рухомість частинок, розмір яких порівнюється з середньою довжиною вільного пробігу газових молекул:

$$F = 3\pi d_{\dot{\nu}} \mu_{\dot{\nu}} V / C_{\dot{\epsilon}}. \quad (1.21)$$

Поправка $C_{\dot{\epsilon}}$ розраховується за формулою

$$C_{\dot{\epsilon}} = 1 + 2l_1/d_{\dot{\nu}} [1,257 + 0,4e^{-1,1d_{\dot{\nu}}/2l_1}]. \quad (1.22)$$

В свою чергу, l_1 можна розрахувати за формулою

$$l_1 = \mu_{\dot{\nu}} / \rho_{\dot{\nu}} [\pi \dot{I}_{\dot{\alpha}} / (2R_{\dot{\alpha}} \cdot T_{\dot{\alpha}})]^{0,5}, \quad (1.23)$$

де $\dot{I}_{\bar{a}}$ – маса 1 кмоль газів, кг/кмоль;

$R_{\bar{a}}$ – універсальна газова постійна, рівна $R_{\bar{a}} = 8314$ Дж/моль·К;

$\dot{O}_{\bar{a}}$ – абсолютна температура газів, К.

Для повітря при $t_{\bar{a}} = 20^{\circ}\text{C}$ і нормальному атмосферному тиску $l_{\bar{a}} = 6,5 \cdot 10^{-8}$ м.

Відповідно до рівняння (1.22) для повітря при нормальних умовах значення поправки $C_{\bar{e}}$ рівні:

$d_{\bar{z}}$, мкм	0,003	0,01	0,03	0,1	0,3	1,0	3,0	10,0
$C_{\bar{e}}$	90,0	24,5	7,9	2,9	1,57	1,16	1,03	1,0

Розглянемо рух частинки в нерухомому середовищі під дією сили ваги (осадження). При відсутності опору середовища їх швидкість змінювалася б залежно від часу τ за законом $V = g \cdot \tau$. Проте зі збільшенням швидкості буде збільшуватись величина опору середовища і відповідно зменшуватись прискорення частинки. Остаточо частинка буде рухатися з постійною швидкістю. Цю швидкість можна визначити з рівності сили опору середовища і сили ваги з врахуванням сили Архімеда:

$$3\pi d_{\bar{z}} \mu_{\bar{z}} \cdot \omega_{\bar{a}} = \frac{\pi d_{\bar{z}}^3}{6} (\rho_{\bar{z}} - \rho_{\bar{a}}) g, \quad (1.24)$$

звідки

$$\omega_{\bar{a}} = \frac{g d_{\bar{z}}^2 (\rho_{\bar{z}} - \rho_{\bar{a}})}{18 \mu_{\bar{z}}} = \frac{g d_{\bar{z}}^2 \rho_{\bar{a}}}{18 \mu_{\bar{z}}} = g \tau_p, \quad (1.25)$$

де $\omega_{\bar{v}}$ – швидкість витання (осадження), м/с;

τ_p – час релаксації частинки, с.

Величину швидкості витання $\omega_{\bar{v}}$ при гравітаційному осадженні частинок в повітрі можна визначити за допомогою графіка, наведеного на рис. 1.5.

1.5.2 Відцентрове осадження частинок. Цей метод осадження широко розповсюджений в промисловості (в циклонах, мультициклонах, ротаційних апаратах, мокрих пиловловлювачах при барботуванні).

На ділянці існування закону Стокса швидкість відцентрового осаджування кульової частинки можна розрахувати, прирівнюючи відцентрову силу F_c , яка розраховується при обертанні газового потоку, стоксовій силі опору середовища.

$$F_c = m_{\bar{z}} \frac{\omega_{\bar{v}}^2}{r}, \quad (1.26)$$

де $m_{\dot{c}}$ – маса частинки, кг;

ω_{ω} – швидкість обертання газового потоку навколо нерухомої осі, м/с;

r – радіус обертання газового потоку, м,

звідки
$$\omega_{\dot{a}} = \frac{d_{\dot{c}}^2 \rho_{\dot{c}}}{18\mu_{\dot{a}}} \cdot \frac{\omega_{\omega}^2}{r} = \tau_p \frac{\omega_{\omega}^2}{r}. \quad (1.27)$$

З рівняння (1.27) виходить, що швидкість осаджування завислих частинок у відцентрових пиловловлювачах прямо пропорційна квадрату діаметра частинок. Величина ж швидкості осаджування при відцентровому осаджуванні більша, ніж при гравітаційному в ω_{ω}/rg раз. Значення швидкості осаджування для частинок густиною $\rho_{\dot{c}} = 2000 \text{ кг/м}^3$ при відношенні ω_{ω}/rg , рівному 10, 100 і 1000, наведені на рис. 1.5.

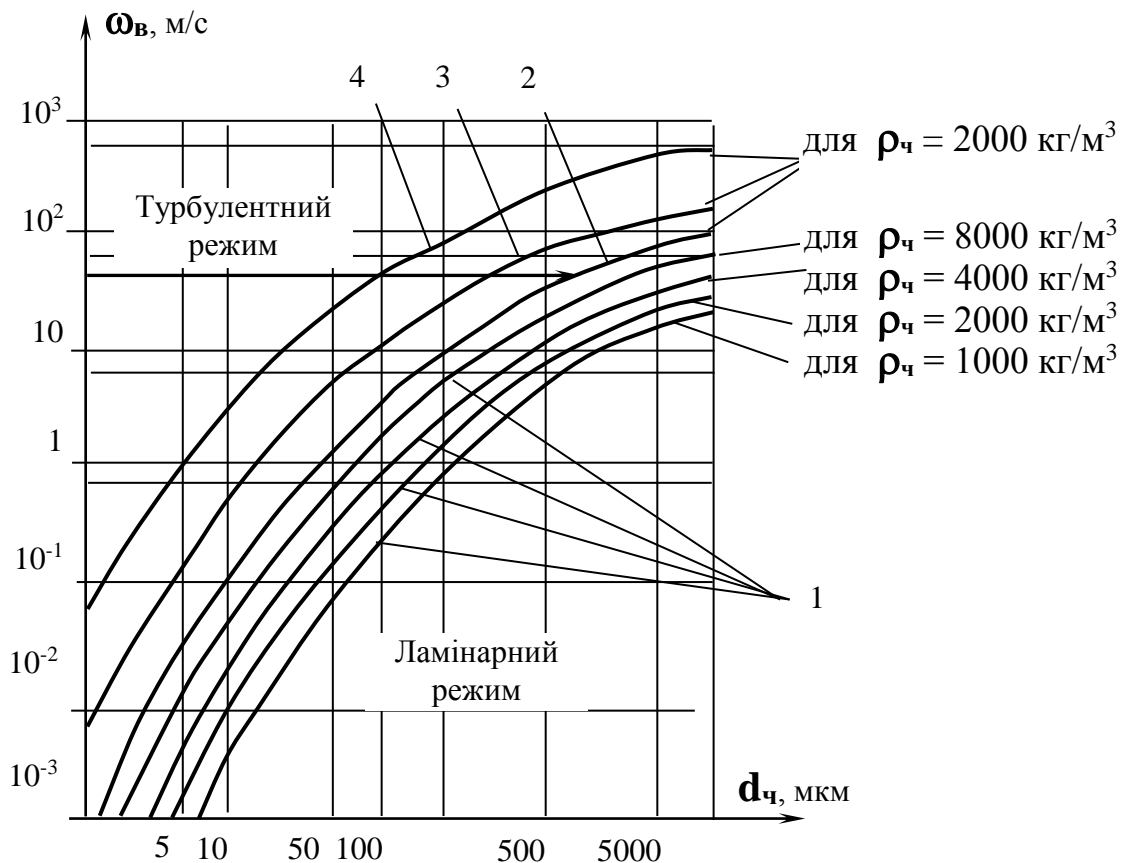


Рисунок 1.5 – Діаграма для визначення швидкості осаджування частинок в повітрі:

1 – під дією сили ваги; 2...4 – під дією сили, яка перевищує силу ваги відповідно в 10, 100, 1000 разів

Якщо за аналогією з вищерозглянутим гравітаційним осаджуванням виразити параметр відцентрового осадження як відношення відцентрової сили, яка діє на кулькову частинку, до сили опору середовища, то одержимо:

$$\omega_{\hat{a}} = \frac{F_{\hat{a}}}{F_c} = \frac{\pi d_{\div}^3 \rho_{\div} \omega_{\omega}^2 / 3 \pi d_{\div} \mu_{\hat{a}} \omega_{\omega}}{18 \mu_{\hat{a}} R} = \frac{d_{\div}^2 \rho_{\div} \omega_{\omega}}{18 \mu_{\hat{a}} R}. \quad (1.28)$$

Відношення в правій частині рівняння (1.28) є не що інше, як критерій Стокса $S_{tk_{\omega}}$, в якому лінійний параметр – це радіус обертання газового потоку. Величину R , м, можна прийняти рівною.

$$R = \frac{r_1 + r_2}{2}, \quad (1.29)$$

де r_1 – радіус вихідної труби циклона, м;

r_2 – радіус корпусу циклона, м.

Найдовший шлях пилінки в радіальному напрямку рівний $r_2 - r_1$. Тоді час τ , с, необхідний для того, щоб пилінка досягла стінки циклона

$$\tau = \frac{r_2 - r_1}{\omega_p} = \frac{9(r_2 - r_1)(r_1 + r_2)\mu_r}{\omega_{\omega}^2 d_{\div}^2 \rho_{\div}}, \quad (1.30)$$

де ω_p – швидкість руху пилінки в радіальному напрямку, м/с.

Аналіз рівняння (1.30) показує, що збільшення швидкості газового потоку поліпшує вловлювання пилу у відцентрових апаратах. Найефективніша швидкість газу на вході в апарат складає 20...25 м/с. Перевищення цієї швидкості приводить до зривання частинок пилу, які вже осіли в апараті. Якщо величина $r_2 - r_1$ залишається постійною, але зростає абсолютне значення r_2 і r_1 , то збільшується $r_2 + r_1$. Це приводить до збільшення необхідного для осадження пилінки часу і погіршенню коефіцієнта очищення. Звідси виходить, що для одержання високої ефективності вловлювання пилу краще застосовувати апарати малого діаметра.

1.5.3 Інерційне осадження частинок. При обтіканні твердого тіла (чи краплини) запиленним потоком частинки внаслідок великої інерції продовжують рухатися поперек зігнутих ліній течії газів (рис. 1.6) і осаджуються на поверхні тіла. Таке осадження називається інерційним. Коефіцієнт ефективності інерційного осадження визначається часткою

частинок, витягнутих з потоку при обтіканні ними тіла. Деколи його називають „ефективністю мішені”.

Траєкторія руху частинки в газовому потоці може бути описана рівнянням:

$$\rho_{\dot{}} V_{\dot{}} \frac{d\bar{\omega}_{\dot{}}}{d\tau} = \rho_r V_{\dot{}} \frac{dV_{\dot{}}}{d\tau} + F_c, \quad (1.31)$$

де $V_{\dot{}}$ – об’єм частинки, m^3 ;

τ – час руху, с;

$\bar{\omega}_{\dot{}}$, $V_{\dot{}}$ – вектор швидкості відповідно частинки і газів в місці знаходження частинки, м/с.

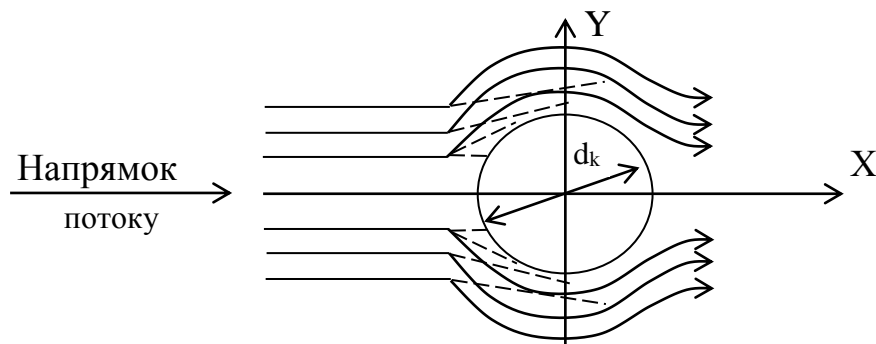


Рисунок 1.6 – Осадження частинок на кулі:

———— рух газів;
 - - - - - рух частинок

Якщо газовий потік рухається стаціонарно, а частинка настільки мала, що для F_c можна застосувати закон Стокса (з поправкою Кенінгема-Мілікена), рівняння (1.31) можна записати у такому вигляді:

$$\rho_{\dot{}} V_{\dot{}} \frac{d^2 \bar{r}_{\dot{}}}{d\tau^2} = \frac{3\pi d_{\dot{}} \mu_{\dot{}}}{C_{\dot{}}} (\bar{V}_{\dot{}} - \frac{d\bar{r}_{\dot{}}}{d\tau}), \quad (1.32)$$

де $\bar{r}_{\dot{}}$ – радіус-вектор частинки, м.

Рівняння (1.32) зручно привести до безрозмірного вигляду, ввівши такі значення:

$\bar{\rho} = \frac{r_{\dot{}}}{R}$ – безрозмірна координата частинки, де R – характерний розмір обтічного тіла (наприклад, радіус кулі чи циліндра в м);

$\bar{\omega}_0 = \frac{\bar{V}_{\dot{}}}{\omega_{\infty}}$ – безрозмірна швидкість газів, де ω_{∞} – швидкість газів, віддалених від обтічного тіла в м/с;

$\tau_0 = \frac{\omega_0}{R} \tau$ – безрозмірний час.

Тоді, після відповідних підстановок і спрощень, одержимо:

$$2S_{tk} \frac{d^2 \bar{\rho}}{d\tau_0^2} + \frac{d\bar{\rho}}{d\tau_0} = \bar{\omega}_0, \quad (1.33)$$

де $S_{tk} = \frac{d^2 V_a \rho \tilde{N}_e}{18 \mu_a 2R}$ – критерій Стокса або „інерційний параметр”,

який характеризує відношення інерційної сили, що діє на частинку, до сили гідравлічного опору середовища. Критерій чисельно рівний відношенню відстані, пройденої частинкою з початковою швидкістю V_a при відсутності зовнішніх сил до зупинки

$$l_{\div} = \frac{d^2 V_a \rho_{\div}}{18 \mu_a}$$

до характерного розміру обтічного тіла (наприклад, діаметра кулі чи циліндра).

Якщо рух частинки здійснюється на ділянці, де закон Стокса не можна застосувати, необхідно ввести поправку, враховуючи відношення дійсної сили опору до стоксівського опору, рівну $\xi_{\div} R_{e_{\div}} / 24$

$$\frac{48 S_{tk}}{\xi_{\div} R_{e_{\div}}} \cdot \frac{d^2 \bar{\rho}}{d\tau_0^2} + \frac{d\bar{\rho}}{d\tau_0} = \bar{\omega}_0, \quad (1.34)$$

де $R_{e_{\div}} = \frac{d_{\div} \rho_{\div} (\bar{\omega}_{\div} - \bar{V}_a)}{\mu_a}$ – критерій Рейнольдса для частинки.

Критерій S_{tk} є єдиним критерієм подібності інерційного осадження. Це значить, що рівняння (1.33) застосовано до геометрично подібних систем з однаковим значенням R_e . У такому випадку подібність конфігурації лінії течії буде видержана незалежно від відмінності між швидкостями руху.

З рівняння (1.34) виходить, що при $S_{tk}=0$ (у частинок з безмежно малою масою)

$$\bar{\omega}_0 = d\rho/d\tau_0,$$

тобто частинка точно проходить лінією течії, не дотикаючись до поверхні обтічного тіла. Очевидно таке явище буде спостерігатися і при достатньо

малих значеннях критерію Стокса. Існує певне мінімальне критичне значення числа Стокса S_{tkkp} , при якому інерція частинки є достатньою, щоб перебороти збільшення її газовим потоком, і вона досягає поверхні тіла. Таким чином, захоплення частинки тілом можливе при умові: $S_{tk} > S_{tkkp}$.

За рис. 1.6 легко прослідкувати і вплив критерію R_e на інерційне осадження. При ламінарній течії потоку $R_e = V_a \rho_a / \mu_a < 2$ ефективність осадження не буде залежати від цього критерію, поки можна нехтувати існуванням суміжного шару навкруги обтічного тіла (в'язке обтікання). Зі збільшенням значення критерію R_e при переході до турбулентного руху потоку на поверхні обтічного тіла утворюється суміжний шар, товщина якого зменшується зі збільшенням критерію R_e . При значеннях R_e більших критичного ($R_e > 500$) лінії течії сильніше вигинаються (потенціальне обтікання) і обтікають тіло на ближчій від нього відстані, внаслідок чого при тому ж значенні критерію ефективність S_{tk} осадження буде вища. Це збільшення ефективності буде продовжуватися зі зменшенням товщини суміжного (ламінарного) шару навкруги тіла, тобто зі збільшенням критерію R_e .

Ще складніший характер набуває суміжний шар при розвинутій турбулентній течії потоку. Тому доцільно розглядати тільки системи з однаковим значенням критерію R_e або системи, в яких режим руху потоку можна не враховувати при розрахунках.

1.5.4 Захоплювання частинок. Розмір частинок має важливе значення при захоплюванні частинок за рахунок дотику до поверхні обтічного тіла. Якщо знехтувати інерційними ефектами і вважати, що частинка осаджується не тільки в тому випадку, коли її траєкторія пересікається з поверхнею тіла, а і у випадку проходження лінії течії на відстані від поверхні тіла, рівному її радіусу. Таким чином, ефективність зачеплення вище нуля і тоді, коли інерційне осадження відсутнє. Ефект зачеплення характеризується параметром R – відношенням діаметрів частинок d_p і обтічного тіла d_o .

При потенційному обтіканні кулі, коли величина R настільки мала, що можна знехтувати інерційними ефектами, ефективність зачеплення складає:

$$\eta_R = (1 + R^2)^{-1/2} \approx 3R. \quad (1.35)$$

В цьому випадку для циліндра правильне співвідношення

$$\eta_R = (1 + R)^{-1} \approx 2R. \quad (1.36)$$

В іншому крайньому випадку, коли за рахунок великого значення інерційних ефектів траєкторії частинок, що осідають, прямолінійні, маємо такі співвідношення:

$$\text{для кулі} \quad \eta_R = (R+1)^2 - 1 \approx 2R; \quad (1.37)$$

$$\text{для циліндра} \quad \eta_R = R. \quad (1.38)$$

Таким чином, при потенційному обтіканні кулі ефективність механізму зачеплення знаходиться в межах $2R \dots 3R$, а при потенційному обтіканні циліндра – $R \dots 2R$.

Для визначення ефективності осадження частинок за рахунок дотику при в'язкому обтіканні циліндра запропоновані такі рівняння:

$$\eta_R = R^2 / 2 - \ln R_e \quad (1.39)$$

$$\eta_R = R^2 R_e^{0,0625}. \quad (1.40)$$

З цих рівнянь виходить, що ефект зчеплення стає значним при осадженні частинок на сферах з малим діаметром. Крім того, вони показують, що осадження частинок за рахунок зачеплення не залежить від швидкості газів, а в основному визначається режимом течії газового потоку.

Ефективність осадження частинок на обтічному тілі зачепленням може бути подана і в критичній формі. В цьому випадку, крім критерію Стокса, необхідно враховувати й інший комплекс, який є відношенням критеріїв

$$\frac{S_{tk}}{R_{eT}} = \frac{d_r^2 \rho_r}{d_r^2 \rho_r}, \quad (1.41)$$

де $R_{eT} = \frac{d_r V_r \rho_r}{\mu_r}$ – критерій Рейнольдса для обтічного тіла.

Тоді ефективність осадження при зачепленні може бути подана у вигляді

$$\eta_R = f\left(S_{tk}; \frac{S_{tk}}{R_{eT}}\right). \quad (1.42)$$

1.5.5 Дифузійне осадження. Частинки малих розмірів знаходяться під дією броунівського (теплого) руху молекул. Переміщення частинок в

цьому випадку описується рівнянням Ейнштейна, згідно з яким середній квадрат зміщення частинок складає

$$\bar{\Delta}_x^2 = 2D_{\dot{\div}} T_r, \quad (1.43)$$

де $D_{\dot{\div}}$ – коефіцієнт дифузії частинки, який характеризує інтенсивність броунівського руху, $\text{м}^2/\text{с}$.

При правильності закону Стокса, коли розмір частинок більший середнього шляху пробігу молекул, коефіцієнт дифузії можна виразити як функцію розміру частинок

$$D_{\dot{\div}} = \frac{C_k K_A T_r}{3\pi\mu_r d_{\dot{\div}}}, \quad (1.44)$$

де \hat{E}_A – постійна Больцмана, рівна $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

При $d_{\dot{\div}} > l_i$ коефіцієнт дифузії може бути розрахований за рівнянням, запропонованим Лангмюром

$$D_{\dot{\div}} = \frac{4K_A T_{\dot{\div}}}{3\pi d_{\dot{\div}}^2 P_{\dot{\div}}} \left(\frac{8R_{\dot{\div}} T_{\dot{\div}}}{\pi l_{\dot{\div}}} \right)^{1/2}, \quad (1.45)$$

де $P_{\dot{\div}}$ – абсолютний тиск газів, Па.

Коефіцієнт дифузії $D_{\dot{\div}}$ входить в безрозмірний комплекс, який характеризує відношення сил внутрішнього тертя до дифузійних сил. Цей комплекс отримав назву критерію Шмідта S_c . Його деколи називають дифузійним критерієм $\mathcal{D}_{\dot{\div}}$.

$$S_c = \frac{\mu_{\dot{\div}}}{\rho_{\dot{\div}} D_{\dot{\div}}} = \frac{V_{\dot{\div}}}{D_{\dot{\div}}}. \quad (1.46)$$

Другим критерієм, який застосовують у практиці дифузійних розрахунків, є критерій Пекле $\mathcal{D}_{\dot{\div}}$ – відношення конвекційних сил до дифузійних сил

$$P_e = Re S_c = \frac{V_{\dot{\div}} \rho_{\dot{\div}} l}{\mu_{\dot{\div}}} \frac{\mu_{\dot{\div}}}{\rho_{\dot{\div}} D_{\dot{\div}}} = \frac{V_{\dot{\div}} l}{D_{\dot{\div}}}, \quad (1.47)$$

де l – лінійний параметр обтічного тіла.

Величина, зворотна критерію Da , є параметром дифузійного осадження і позначається через D .

Нижче наведено значення коефіцієнта дифузії частинок, розраховані за формулою (1.44) (для повітря при н. у.) і значення критерію S_c :

Розмір частинок, мкм	10	1,0	0,1
Коефіцієнт дифузії, м ² /с	$2,4 \cdot 10^{-12}$	$2,7 \cdot 10^{-11}$	$6,1 \cdot 10^{-10}$
Критерій S_c	$6,4 \cdot 10^6$	$5,6 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^4$

Як видно з наведених даних, коефіцієнт дифузії різко збільшується зі зменшенням розміру частинок. Проте швидкість дифузії навіть субмікронних частинок надто мала порівняно з швидкістю молекул газів, тому що коефіцієнт частинок на декілька порядків менший.

Для розрахунку осадження частинок за рахунок дифузії застосовуються формули, одержані при розгляді процесів молекулярної дифузії.

Масову швидкість частинок σ_{\pm} , кг/с, які дифундують на кулю розраховують за формулою:

- при $Re_0 < 3$ і $S_c \approx 10^6$

$$\sigma_{\pm} = \pi D_{\pm} d_k C' R_{e_t}^{1/2} S_c^{1/3}, \quad (1.48)$$

де C' – концентрація частинок в потоці, кг/м³;

- при $Re_0 = 600 \dots 2600$ і тому ж значенні критерію S_c

$$\sigma_{\pm} = 0,8 \pi D_{\pm} d_{\hat{e}} C' R_{e_0}^{1/2} S_c^{1/3}, \quad (1.49)$$

а при $Re_0 = 100 \dots 700$ і $S_c \approx 1 \cdot 10^3$

$$\sigma_{\pm} = 0,95 \pi D_{\pm} d_{\hat{e}} C' R_{e_0}^{1/2} S_c^{1/3}. \quad (1.50)$$

Для розрахунку ефективності дифузійного осадження частинок при обтіканні кулі рекомендована така формула

$$\eta_D = 2\sqrt{2} / (P_a d_{\hat{e}})^{1/2}. \quad (1.51)$$

Рівняння для розрахунку ефективності дифузійного осадження на циліндрі при в'язкому його обтіканні має вигляд

$$\eta_D = 2,92 \cdot (2 - \ln R_{e_t})^{-1/3} P_a^{-2/3}, \quad (1.52)$$

а при потенційному осадженні

$$\eta_D = 3,19 P_a^{-1/2}. \quad (1.53)$$

Згідно з вищенаведеними рівняннями, ефективність дифузійного осадження зворотно пропорційна розмірам частинок і швидкості газового потоку.

1.5.6 Осадження під дією електричних зарядів. Електричне зарядження частинок може бути здійснене трьома шляхами: при генерації аерозолу, за рахунок дифузії вільних іонів і при коронному розряді. При застосуванні перших двох способів число частинок, які одержали позитивний і негативний заряди, приблизно однакові. Коронний розряд, навпаки, приводить до зарядження частинок одним знаком. Зарядження частинок при коронному розряді здійснюється двома способами: дією електричного поля (частинки бомбардуються двома іонами, які рухаються в напрямку силових ліній поля) і дифузією іонів. Перший спосіб домінує при розмірах частинок більше 0,5 мкм, другий – при розмірах частинок менше 0,2 мкм. Для частинок діаметром 0,2...0,5 мкм ефективні обидва способи, причому мінімальна швидкість зарядження спостерігається для частинок розміром біля 0,3 мкм.

Величина заряду q , Кл, одержуваного під дією електричного поля, електропровідної частинки сферичної форми розраховується за формулою

$$q = 3\pi d^2 \varepsilon_0 E, \quad (1.54)$$

де ε_0 – діелектрична проникність ($\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м);

\dot{A} – напруженість електричного поля коронного розряду, В/м.

Для неелектропровідної частинки

$$q = 3 \frac{\varepsilon}{\varepsilon + 2} \pi \varepsilon_0 d^2 E, \quad (1.55)$$

де ε – відносна діелектрична проникність частинки.

При дифузійному зарядженні величина q_D , Кл, знаходиться за формулою

$$q_D = \frac{2\pi d \dot{K}_a T_r \varepsilon_0}{e} \left[1 + \sqrt{\frac{2\pi}{m_i \dot{K}_a T_r} n_i' e^2 \tau} \right], \quad (1.56)$$

де e – величина заряду електрона, Кл ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$);

n_i' – початкова концентрація іонів коронного розряду, іони/м³;

m_i – маса іона, кг.

Для умов, які звичайно зустрічаються на практиці ($T_a = 420...470$ К, $n_i' = 10^{14}$ іонів/м³) рівняння (1.56) можна значно скоротити

$$q_D \approx 10^8 d_{\pm} e. \quad (1.57)$$

Таким чином, максимальна величина заряду частинок розміром більше 0,5 мкм пропорційна квадрату діаметра частинок, а частинок розміром менше 0,2 мкм – діаметру частинок.

Електростатична сила F_e , H , яка діє на заряджену частинку в електричному полі напруженістю E , V , дорівнює

$$F_e = qE. \quad (1.58)$$

На ділянці застосування закону Стокса можна розраховувати, прирівнюючи кулонівську силу стоксовій силі, швидкість осадження заряджених частинок

$$\omega_{oc} = \frac{qEC_{\epsilon}}{3\pi\mu_a d_{\pm}}. \quad (1.59)$$

Значення q знаходиться з формул (1.54)...(1.57) залежно від властивостей і розміру частинок.

На методі електричного осадження частинок заснована робота електрофільтра.

Аерозоль, в якій всі частинки мають заряд одного і того ж знака, рівномірно розсіюється під дією свого власного загального заряду. Швидкість розсіювання зарядженої аерозольної хмарини описується рівнянням

$$\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2} = 4q^2 t C_{\epsilon} / (3d_{\pm} \mu_a), \quad (1.60)$$

де \tilde{N}_1 – початкова концентрація частинок, см⁻³;

\tilde{N}_2 – концентрація частинок в момент часу t , см⁻³.

Оскільки концентрація аерозолу однакова у всіх точках у будь-який момент в процесі електростатичного розсіювання, то рух середовища не впливає на розсіювання і рівняння (1.60) справедливе для аерозолів, які знаходяться в режимі і ламінарної, і турбулентної течії.

Якщо в склад аерозолів входять і позитивно, і негативно заряджені частинки, а їх концентрації неоднакові, то частинки, які знаходяться в меншості, переміщуються до центра аерозольної хмарини, де їх концентрація поступово зростає. Густина заряду в цьому центральному ядрі починає асимптотично зменшуватися до того часу, поки воно не стане практично нейтральним. В той же самий час розсіювання зовнішньої частини аерозолів, які складаються з частинок з однойменним зарядом, продовжується.

1.5.7 Магнітні поля. Якщо тверда частинка не має природних магнітних властивостей, але при русі в газах з швидкістю ω одержала електричний заряд q , Кл, і потім потрапила в магнітне поле напруженістю \vec{I} , А/м, то на частинку буде діяти сила F_i , \vec{I} , перпендикулярна до направлення поля і до направлення руху частинки. Внаслідок цього частинка зміщується з швидкістю, яка може бути розрахована за законом Стокса:

$$\omega_{\pm} = \frac{C_{\epsilon} N q \mu_{0_i} \mu_i V_{\vec{a}}}{3\pi \mu_a d_{\pm}}, \quad (1.61)$$

де μ_{0_i} – абсолютна магнітна проникність вакууму ($1,257 \cdot 10^{-6}$ Г/м);

μ_i – відносна магнітна проникність.

Швидкість зміщення в такому випадку залежить від швидкості газу; ці величини пропорційні.

Якщо малі магнітні частинки потрапляють в магнітне поле, то вони орієнтуються таким чином, що їх протилежні кінці направляються до різних полюсів магніту. Сумарна сила, яка діє на частинку в магнітному полі, може бути подана у вигляді алгебраїчної суми сил притягання і відштовхування.

1.5.8 Акустичні поля. Частинка, яка зависла у вібрувальному середовищі, здійснює коливальний рух. Відомі спроби застосувати акустичну коагуляцію для збільшення частинок, що забезпечує їх ефективне видалення в циклоні чи в іншій пристрої для вловлювання частинок. Хоча ці спроби й привели до досягнення деяких успіхів, в цьому посібнику питання перенесення частинок в акустичному полі не розглядаються.

1.5.9 Термофорез. Термофорез – це відштовхування частинок нагрітими тілами, викликане силами, які діють з боку газоподібної фази на нерівномірно нагріті частинки аерозолів, що знаходяться в ній. Механізм цих сил значно залежить від відношення розміру частинки і середньої довжини вільного пробігу газових молекул. При $d_{\pm} \ll l_i$ термофоретична сила F_{\circ} , \vec{I} , яка діє на частинку, може бути визначена за формулою

$$F_{\dot{o}} = \frac{d_{\dot{a}}^2 P_{\dot{a}} l_i}{T_{\dot{a}}} \Delta T_{\dot{a}}, \quad (1.62)$$

де $P_{\dot{a}}$ – абсолютний тиск газів, Па;

$\dot{O}_{\dot{a}}$ – градієнт температури в газах, К/м.

Згідно з цією формулою термофоретична сила пропорційна квадрату діаметра частинок і не залежить від тиску, тому що $P_{\dot{a}} l_i = \text{const}$.

Швидкість частинок при термофорезі $\omega_{\dot{o}}$, м/с, в цьому режимі рівна

$$\omega_{\dot{o}} = \frac{6\mu_{\dot{a}}}{(8 + \pi\alpha)T_{\dot{a}}\rho_{\dot{a}}} \Delta T_{\dot{a}}, \quad (1.63)$$

де α – частка розсіяних частинок молекул газу; для частинок неправильної форми і з дуже гладенькою поверхнею (аморфні чи рідкі) $\alpha \approx 0,9$; для частинок, утворених механічним шляхом і гострими кутами $\alpha \approx 1,0$.

Таким чином, $\omega_{\dot{o}}$ не залежить від розміру частинок і мало залежить від їх властивостей.

У випадку $d_{\dot{a}} \gg l_i$ для розрахунку швидкості термофорезу можна скористатися формулою, запропонованою Ейнштейном

$$\omega_{\dot{o}} \approx - \frac{3\mu_{\dot{a}}}{2\rho_{\dot{a}}T_{\dot{a}}} \frac{K_{\dot{a}}}{2K_{\dot{a}} + K_{\dot{c}}} \Delta T_{\dot{a}}, \quad (1.64)$$

де $\hat{E}_{\dot{a}}$ і $\hat{E}_{\dot{c}}$ – коефіцієнт теплопровідності відповідно газів і частинки, Вт/м·К.

Тоді термофоретична сила може бути подана у вигляді

$$F_T = \frac{3\pi\mu_{\dot{a}}d_{\dot{c}}\omega_{\dot{o}}}{C_{\dot{e}}} = \frac{3\pi d_{\dot{c}}\mu_{\dot{a}}^2}{2\rho_{\dot{a}}T_{\dot{a}}} \frac{K_{\dot{a}}}{2K_{\dot{a}} + K_{\dot{c}}} \Delta T_{\dot{a}}. \quad (1.65)$$

Рекомендовані рівняння узгоджуються з експериментальними даними для частинок з малою теплопровідністю ($\hat{E}_{\dot{c}}/\hat{E}_{\dot{a}} \leq 10$). Для частинок з високою теплопровідністю експериментальні вимірювання термофоретичної швидкості відрізнялися в 30...100 разів. Тому Броком була рекомендована друга формула для розрахунку $\omega_{\dot{o}}$ при термофорезі

$$\omega_{\dot{\tau}} = - \frac{3\mu_{\dot{a}}C_{\dot{e}}}{2\rho_{\dot{a}}T_{\dot{a}}} \frac{1}{1 + \frac{6C_1 l_i}{d_{\dot{z}}}} \frac{\frac{K_{\dot{a}}}{K_{\dot{z}}} + C_2 \frac{2l_i}{d_{\dot{z}}}}{1 + 2 \frac{K_{\dot{a}}}{K_{\dot{z}}} + 4C_2 \frac{l_i}{d_{\dot{z}}}}, \quad (1.66)$$

де \tilde{N}_1 і \tilde{N}_2 – коефіцієнти, відповідно рівні 1,875...2,48 і 1,0...1,27.

Це рівняння дає задовільні результати (помилка не перевищує 25%) для частинок з високою і низькою теплопровідністю.

Дерягіним і Бакановим була рекомендована формула для розрахунку швидкості при термофорезі частинок великих розмірів

$$\omega_{\dot{\tau}} = - \frac{4K_{\dot{a}} + 0,5K_{\dot{z}}}{(2K_{\dot{a}} + K_{\dot{z}})\rho_{\dot{a}}T_{\dot{a}}} \Delta T_0. \quad (1.67)$$

Експериментальний аналіз наведених вище трьох формул показав, що найкращу збіжність з практичними результатами дає рівняння (1.67).

Якщо виразити параметр осадження за рахунок термофоретичної сили як відношення цієї сили до стоксової сили опору середовища, то для найбільш розповсюдженого на практиці випадку ($d_{\dot{z}} \gg l_i$)

$$\Gamma = \frac{3}{2} \frac{\Delta T_A \mu_A C_k}{V_A \rho_A T_A} \frac{K_A C_e}{2K_{\dot{a}} + K_{\dot{z}}}. \quad (1.68)$$

З врахуванням того, що теплопровідність газів значно менша теплопровідності твердих і рідких тіл, рівняння можна записати в такому вигляді:

$$\Gamma \approx \frac{3}{2} \frac{\Delta T_A \mu_A C_k}{V_A \rho_A T_A} \frac{K_A}{K_{\dot{z}}}. \quad (1.69)$$

Якщо для розрахунку швидкості термофорезу застосувати формулу (1.67), вигляд термофоретичного параметра трохи спроститься

$$\Gamma \approx \frac{\mu_A}{3\rho_A T_A V_A} \Delta T_A. \quad (1.70)$$

1.5.10 Фотофорез. Фотофорез, тобто рух частинок аерозолю, які освітлюються з однієї сторони, – це є частковий випадок термофорезу. Характер явищ, що спостерігаються, залежить від розподілення температур в освітлювальній частинці, яке в свою чергу визначається формою і розмі-

ром частинки, прозорістю і показником заломлення матеріалу. В прозорих частинках зворотна сторона може нагріватися сильніше, ніж сторона, звернена до джерела світла, внаслідок чого частинка буде рухатися за напрямом до світла. Якщо сторона, звернена до світла, гарячіша, ніж зворотна сторона, то частинка буде віддалятися від джерела світла.

1.5.11 Дифузіофорез. Дифузіофорез – це рух частинок, викликаний градієнтом концентрації компонентів газової суміші. Явище дифузіофорезу чітко проявляється в процесах випаровування і конденсації.

При випаровуванні з поверхні краплини виникає градієнт концентрації пари, але оскільки загальний тиск пари повинен залишатися постійним, відбувається гідродинамічна течія парогазової суміші, направлена перпендикулярно до поверхні випаровуваної краплини і компенсуюча дифузю газів до цієї поверхні. Ця гідродинамічна течія, названа стефанівською, може значно впливати на осадження частинок. Так, при уловлюванні частинок розпиленою водою при недонасиченні газів водяною парою стефанівська течія перешкоджає, а при перенасиченні – сприяє захвату частинок краплинами.

Математичний вираз розглянутого явища, який носить назву закону Стефана, при конденсації парів має такий вигляд

$$\sigma_A = \frac{D_i M_i P_{iA}}{R_A T_A (P_{AA} - P_{iA})} \Delta P_i, \quad (1.71)$$

де σ_i – кількість речовини, яка продифундувала за 1 с через 1 м² поверхні, кг/м²·с;

P_{iA} – тиск парогазової суміші, Па;

P_i – парціальний тиск пари, Па;

D_i – коефіцієнт дифузії пари, м²/с;

\dot{I}_i – маса 1 кмоль пари, кг/кмоль;

ΔP_i – зміна парціального тиску на осі, нормальній до поверхні краплини (плівки рідини), – градієнт парціального тиску пари.

Рівняння Стефана справедливе і при випаровуванні: в цьому випадку змінюється тільки знак потоку речовини – з'являється мінус в правій частині рівняння (1.71).

Швидкість дифузійного руху частинки $\omega_{\pm D}$, м/с, яка враховує як дифузю самих частинок, так і стефанівську течію, при $d_{\pm} \ll l_i$ в парогазовій суміші виражається рівнянням

$$\omega_{\pm D} = - \frac{\sqrt{M_i} P_{iA}}{P_i \sqrt{M_i} + P_A \sqrt{M_A}} \frac{D_i}{P_A} \Delta P_i, \quad (1.72)$$

де P_a – парціальний тиск сухих газів, Па;

M_a – молекулярна маса стаціонарного газу, кг/кмоль.

Наведене рівняння було виведене для випадку $d_p < 1$, проте воно добре описує експериментальні результати (з розходженням до 9% в тих випадках, коли d_p/L_1 змінюються від 2 до 12).

1.6 Природоохоронні технології захисту навколишнього середовища

Під природоохоронними технологіями захисту навколишнього природного середовища розуміють комплекс технологічних, технічних і організаційних заходів, направлених на зниження чи повне виключення антропогенного забруднення біосфери.

Універсальних методів захисту навколишнього середовища, які радикально вирішують проблему боротьби з забрудненнями, поки що не існує, і тільки поєднання декількох, раціонально підібраних і науково обґрунтованих заходів в кожному конкретному випадку може привести до бажаних ефективних результатів охорони природного середовища.

Для захисту від антропогенних забруднень застосовують такі методи:

- *технологічні* – безпосередній вплив на технологічні процеси, які є джерелами забруднення, тобто активне втручання в технологію;

- *організаційно-технічні* – зменшення концентрацій і рівня забруднень на шляху їх розповсюдження в біосфері, тобто невтручання в технологію, а тільки боротьба з уже утвореними внаслідок технологічного процесу забрудненнями шляхом використання технічних засобів захисту і проведення організаційно-планувальних заходів.

При використанні технологічних методів проблема ліквідації забруднень вирішується радикально, але їх розроблення і впровадження пов'язані з трудомісткими і дорогими заходами, а саме:

- реконструкцією підприємств і зміною існуючої технології;
- значними капітальними витратами;
- проведенням спеціальних науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт;

- вирішенням складних технологічних і організаційних задач не тільки науково-технічного, а і соціально-економічного плану.

Незважаючи на проведення такого складного комплексу заходів, вирішити питання захисту навколишнього середовища тільки технологічними методами не завжди можливо. Тому ще широко застосовують організаційно-технічні методи, незважаючи на те, що вони менш ефективні й

захист навколишнього середовища в цьому випадку носить локальний характер.

Загальна класифікація методів захисту навколишнього середовища наведена на рис. 1.7, з розгляду якого виходить, що при проведенні технологічних заходів для боротьби з забрудненнями навколишнього середовища застосовують прямі й побічні методи.

Прямі методи дозволяють знизити масу, об'єм, концентрацію і рівень забруднень безпосередньо в джерелі їх утворення при основному технологічному процесі. Наприклад: поліпшення якості палива (зниження в ньому вмісту сірки – основного забруднювача атмосфери при спалюванні), удосконалення топкових пристроїв, форсунок і пальників, переведення автотранспорту з бензинового на газове паливо чи на електроживлення (електромобілі) тощо.

Побічні методи не забезпечують безпосереднього зниження рівня забруднень в джерелі при основному технологічному процесі, але дозволяють знизити до мінімуму або виключити їх утворення при проведенні наступних технологічних процесів. Наприклад:

- наближення форми і розмірів заготовки до форми і розмірів оброблюваних деталей машин, а також зменшення припусків внаслідок використання більш прогресивних методів лиття і оброблення тиском дозволяють знизити забруднення навколишнього природного середовища при переробленні металеві стружки і пилу, які утворюються при виготовленні деталей на металооброблювальних верстатах;

- заміна процесу травлення (що неминуче супроводжується утворенням токсичних стоків) на голкофрезерування, при якому шкідливі відходи практично не утворюються;

- заміна початкових неутилізованих матеріалів на утилізовані, що забезпечує повну утилізацію всіх відходів тощо.

Вищою формою вдосконалення технології виробництва є створення замкнутих технологічних процесів, систем оборотного водопостачання і безвідходної технології, що можливо тільки при поєднанні прямих і побічних методів.

Під безвідходною технологією розуміють замкнуті технологічні процеси, при яких відходи попереднього процесу є початковою сировиною для наступного. Прообраз цієї технології є кругообіг речовин і енергії в природі. Впровадження на всіх етапах виробництва безвідходної технології дозволить повністю зняти проблему антропогенного забруднення біосфери.

Організаційно-технічні методи, застосування яких не пов'язано з безпосереднім впливом на джерело забруднення, застосовують для захисту навколишнього середовища такими шляхами:

- розосередження джерел забруднення. Воно не захищає безпосередньо навколишнє природне середовище, але дозволяє понизити локальне

навантаження шкідливих речовин на біосферу до допустимих концентрацій і рівнів, з нейтралізацією яких природа справляється ще сама;



Рисунок 1.7 – Класифікація природоохоронних методів захисту навколишнього середовища від антропогенних забруднень

- локалізація джерел забруднення за рахунок ізоляції, герметизації, екранування, а також захоронення відходів, що дозволяє обмежити розповсюдження забруднювачів в біосфері;

- очищення (повного чи до допустимих концентрацій) викидів, що поступають в біосферу за допомогою спеціальних технічних пристроїв і апаратів, які використовують фізичні, хімічні, фізико-хімічні та біохімічні способи очищення і обеззаражування забруднювачів.

Під безвідходною технологією розуміють замкнуті технологічні процеси, при яких відходи попереднього процесу є початковою сировиною для наступного. Прообраз цієї технології є кругообіг речовин і енергії в природі. Впровадження на всіх етапах виробництва безвідходної технології дозволить повністю зняти проблему антропогенного забруднення біосфери.

Організаційно-технічні методи, застосування яких не пов'язано з безпосереднім впливом на джерело забруднення, застосовують для захисту навколишнього середовища такими шляхами:

- розосередження джерел забруднення. Воно не захищає безпосередньо навколишнє природне середовище, але дозволяє понизити локальне навантаження шкідливих речовин на біосферу до допустимих концентрацій і рівнів, з нейтралізацією яких природа справляється ще сама;

- локалізація джерел забруднення за рахунок ізоляції, герметизації, екранування, а також захоронення відходів, що дозволяє обмежити розповсюдження забруднювачів в біосфері;

- очищення (повного чи до допустимих концентрацій) викидів, що поступають в біосферу за допомогою спеціальних технічних пристроїв і апаратів, які використовують фізичні, хімічні, фізико-хімічні та біохімічні способи очищення і обеззаражування забруднювачів.

На сьогоднішньому рівні розвитку технології застосування організаційно-технічних методів є основним способом боротьби з забрудненням навколишнього природного середовища. При цьому перевага віддається розробленню і удосконаленню пристроїв і апаратів очищення викидів в біосферу.

1.6.1 Способи очищення газів

Всі промислові гази – як відхідні, так і технологічні – передаються газоходами чи трубопроводами, які можуть постачатися з відповідними газоочисними пристроями. Природно, вибір придатного методу очищення залежить від природи вловлюваного матеріалу. Якщо вловлювана речовина газоподібна, можливі два альтернативних варіанти: *адсорбція* чи *абсорбція* домішок з газової суміші або подальші хімічні перетворення компонентів суміші.

Абсорбція газів широко застосовується в тих випадках, коли очищенню підлягають великі газові потоки, наприклад, пари HCl , аміак, SO_2 і CO_2 .

Адсорбція газів на твердих сорбентах більш застосовується для поглинання невеликої кількості газів, наприклад, пари води – силікагелем, CO_2 – вапном, пари органічних сполук – активованим вугіллям.

Під **хімічними перетвореннями** газів з метою очищення мають на увазі спалювання чи каталітичний процес, зокрема каталітичне окислення органічних сполук. Проте до цього методу можна віднести і збільшення тривалості процесу для закінчення реакції замість того, щоб „заморозити” газову суміш перед безпосереднім викидом її в атмосферу.

Отже, технологія видалення газових забруднень з газового потоку основана на хімічних реакціях чи на процесах адсорбції, чи абсорбції. В переважній більшості одночасно застосовують один із методів, тому для конструктивного розроблення газоочисних установок можуть застосовуватися типові заходи хімічного машинобудування.

Видалення твердих частинок малого діаметра і краплин рідини значно складніше і суворі фізична класифікація методів не є можливою, тому що в дію можуть вступати, а часто і вступають різні комбіновані методи. До основних фізичних операцій, що використовуються для цієї мети, відносяться гравітаційне осадження, центрифугування, інерційний чи прямий захват, броунівська або вихрова дифузія, осадження (термічне, електростатичне чи магнітне), броунівська чи акустична агломерація і турбулентне розділення.

В більшості пиловловлювальних пристроїв звичайно декілька згаданих вище процесів одночасно беруть участь в очищенні газового потоку, хоча частіше всього тільки один з них є основним при осадженні частинок певного типу. Так, процес фільтрування заснований на інерційному і прямому захваті та броунівській дифузії. Проте броунівська дифузія відіграє домінуючу роль у видаленні частинок субмікронних розмірів, тоді як інерція і прямий захват є основними механізмами вловлювання частинок мікронного розміру.

В цьому процесі важливу роль відіграють також електростатичні сили, тому що заряджені частинки можуть індукувати заряд на незарядженому, фільтрувальному середовищі.

Перш ніж рекомендувати той чи інший метод і відповідно сконструювати газоочисне обладнання, необхідно встановити, які речовини необхідно видалити з газового потоку, об’єм потоку і його параметри. Таким чином, необхідно провести аналіз газового потоку і його компонентів. До найнеобхіднішої інформації відносяться швидкість газового потоку, температура і склад газів, природа компонентів, які вилучаються, а також необхідний ступінь очищення.

В табл. 1.4 наведені розміри вловлюваних частинок апаратів пилоочищення та інших показників, які необхідно враховувати при виборі апаратів пилоочищення.

Наведені дані служать тільки попередньою інформацією при виборі способу і апаратів пилогазоочищення. Наприклад, при виборі варіанта фільтраційного очищення необхідно враховувати агресивність пилогазового потоку, а при електричному очищенні – питомий електричний опір аерозольних частинок в газовому потоці та інші фізико-хімічні властивості дисперсної фази.

Таблиця 1.4 – Показники для вибору апаратів пиловловлювання

Пиловловлювачі	Максимальний вміст пилу в газі, кг/м³	Розміри уловлюваних частинок, мкм	Ступінь очищення, %	Гідравлічний опір, кПа	Максимальна температура на вході в апарат, °С
Пилоосаджувальні камери	-	100	30-40	-	Не лімітується
Жалюзійні пиловловлювачі	0,02	25	60	500	400-500
Циклони	0,40	10	70-95	400-700	400
Батарейні циклони	0,10	10	85-90	500-800	400
Рукавні фільтри	0,02	1	98-99	500-2500	100-250
Відцентрові скрубери	0,05	2	85-95	400-800	Не лімітується
Пінні апарати	0,03	2	95-99	300-900	Не лімітується
Скрубери з рухомою насадкою	0,02	1	96-99	300-1000	Не лімітується
Електрофільтри	0,01-0,05	0,005	99 і менше	100-200	425

Подібний метод аналізу фізико-хімічних параметрів газів застосовують при виборі способів очищення від газових домішок. Якщо, наприклад, для вибору мокрого способу очищення достатньо мати дані про витрати газу, то для вирішення питання про застосування методу абсорбції необ-

хідно знати склад і вміст газових домішок, які видаляються. Критерієм підбору абсорбенту є розчинність в ньому відповідного газу.

Деколи можливо, а в ряді виключно складних проблем і економічно необхідно, в принципі відмовитися від очищення газів або шляхом зміни самого технологічного процесу, або перемістити виробництво на придатний майданчик, або ж просто підвищити викидну трубу.

Якщо газоочисна установка призначена для нового технологічного процесу, то необхідно отримати і оцінити інформацію про швидкість газового потоку, температуру і склад газу. При цьому інформацію про природу речовин, які вилучаються, отримують з літературних джерел або на основі аналогічного підприємства, або ж з даних лабораторних досліджень.

Після аналізу проблеми стає можливим провесни розрахунки, віднесені до видалення газоподібних компонентів або частинок. З допомогою розрахунків можна отримати висновки про можливі механізми очищення, а також про розміри і складність необхідного обладнання. Таке економічне оцінювання методів очищення газів дозволить вибрати найпридатніший з них і покаже його вартість.

1.7 Необхідна ступінь очищення газів

В тих випадках, коли гази призначені для використання в хімічних процесах, з них повинні бути видалені будь-які компоненти – газоподібні чи пиловидні, якщо вони перешкоджають проведенню даного процесу. Так, наприклад, окис вуглецю отруює каталізатор синтезу аміаку, тому його вміст повинен бути зменшений до допустимо низького значення перед поданням водню і азоту в колону синтезу. Ступінь необхідного очищення газів визначається верхнім порогом концентрації, яка допустима для даного процесу.

Другі гази, в основному природний газ, гази нафтоперегонки і коксовий газ виробляють, головним чином, для одержання промислового і побутового тепла. Вони вміщують значну кількість сірководню, який викликає корозію трубопроводів при охолодженні цих газів нижче точки роси. Крім того, вони виділяють неприємний запах при згоранні й можуть впливати на деякі технологічні процеси, такі як підігрівання сталевих поковок. Тому вміст сірководню необхідно знизити до концентрації, допустимої для споживача.

Вихідні гази, які утворюються при згоранні палива в хімічних, металургійних та інших процесах, звичайно викидаються в атмосферу. Вони можуть вміщувати небезпечні та шкідливі речовини, такі як оксид арсену чи радіоактивні домішки; вони можуть бути неприємними, наприклад, клуби диму. Граничні величини викидів визначаються, виходячи з трьох основних міркувань:

- концентрація, яка загрожує рослинному чи тваринному світові;

- законодавчі обмеження, визначені державою чи місцевою владою;
- зменшення забруднень повітряного басейну для забезпечення життєдіяльності людей.

Ці міркування взаємозалежні. Так, законодавчими обмеженнями встановлені концентрації викидів в атмосферу, які наносять шкоду тваринному чи рослинному світу.

1.7.1 Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин

Концентрація – маса (мг) речовини в одиниці об'єму (м³) повітря при нормальних умовах – є основною фізичною характеристикою домішок атмосфери. Концентрація домішок визначає фізичний, хімічний та інші види впливу речовин на людину і навколишнє середовище й служить основним параметром при нормуванні вмісту домішок в атмосфері.

Гранично допустима концентрація (ГДК) – це максимальна концентрація домішок в атмосфері, віднесена до певного часу осереднення, яка при періодичній дії чи протягом всього життя людини не чинить ні на неї, ні на навколишнє середовище в цілому шкідливої дії (включаючи віддалені наслідки).

Якщо речовина чинить на навколишню природу шкідливу дію в менших концентраціях, ніж на організм людини, то при нормуванні виходять з порогу дії цієї речовини на навколишню природу.

Гранично допустимі концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі населених пунктів регламентовані Державними санітарними правилами охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) (ДСП-201-97), згідно з якими встановлені: клас небезпечності речовини, допустимі максимальна разова і середньодобова концентрації домішок. ГДК деяких забруднювальних речовин наведені в додатку Б.

Максимальна разова ГДК_{макс} – основна характеристика небезпечності шкідливої речовини. Вона встановлюється для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світлової чутливості, зміна біоелектричної активності головного мозку тощо) при короткочасній дії атмосферних домішок.

Середньодобова ГДК_{с.д.} встановлена для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного та іншого впливу речовин на організм людини.

Найбільша концентрація \tilde{N} кожної шкідливої речовини в приземному шарі не повинна перевищувати максимально разової гранично допустимої концентрації, тобто $\tilde{N} \leq \tilde{A}\tilde{E}_{i \text{ äen}}$, при експозиції не більше 20 хв. Якщо час дії шкідливої речовини перевищує 20 хв, то $\tilde{N} \leq \tilde{A}\tilde{E}_{\text{äiä}}$.

При одночасній присутності в атмосфері декількох шкідливих речовин, що мають однонаправлену дію, їх безрозмірна сумарна концентрація повинна задовольняти умову:

$$C_1/\hat{C}_1 + C_2/\hat{C}_2 + \dots + \tilde{N}_n/\hat{C}_n \leq 1, \quad (1.73)$$

де $\tilde{N}_1, \tilde{N}_2, \dots, \tilde{N}_n$ – концентрація шкідливих речовин в одній і тій же місцевості, мг/м³;

ГДК₁, ГДК₂, ..., ГДК_n – гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в атмосфері, мг/м³.

Однонаправлену дію мають, наприклад, такі шкідливі речовини, як діоксиди сірки і азоту; діоксид сірки і сірководень; сильні мінеральні кислоти (сірчана, соляна, азотна); етилен, пропілен, бутилен, амілен; озон, діоксид азоту, формальдегід тощо. Максимальні концентрації шкідливих речовин визначають за разовими пробами, відібраними протягом 20 хв. Середньодобові концентрації визначають або як середньоарифметичне значення концентрацій разових проб, для яких встановлюють періодичність їх відбору, або з добових концентрацій, одержаних безперервно протягом 24 годин.

1.7.2 Гранично допустимі викиди шкідливих речовин

Відповідно до вимог ДСП-201-97 для кожного проектного і діючого промислового підприємства встановлюються *гранично допустимі викиди (ГДВ)* шкідливих речовин в атмосферу при умові, що викиди шкідливих речовин від даного джерела в сукупності з другими джерелами (з врахуванням перспективи їх розвитку) не створять приземну концентрацію, яка перевищує ГДК.

При визначенні ГДВ домішок від розрахункового джерела необхідно враховувати їх концентрацію в атмосфері, обумовлену викидами від інших джерел, дотримуючись для приземного шару умови

$$C + C_0 \leq \hat{C}, \quad (1.74)$$

де \hat{C} – концентрація речовини в приземному шарі, що створюється розрахунковим джерелом викидів, мг/м³;

\tilde{N}_0 – фонові концентрації речовини, мг/м³.

Встановлюються також контрольні значення ГДВ в грамах за секунду, які не повинні перевищуватися в будь-який двадцятихвилинний інтервал часу. Крім того, контроль ГДВ проводиться в середньому за добу, місяць, рік.

ГДВ шкідливих речовин встановлюють для кожного джерела забруднення атмосфери. Для неорганізованих викидів і сукупності дрібних одиночних джерел (вентиляційні викиди, викиди стаціонарних енергоустановок тощо) встановлюють сумарний ГДВ.

Тимчасово погоджені викиди (ТПВ) шкідливих речовин встановлюються для підприємств, якщо неможливо забезпечити ГДВ. Величини ТПВ погоджуються з Держкомприроди з поетапним їх зниженням.

ГДВ і ТПВ шкідливих речовин переглядаються не рідше одного разу на 5 років.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте природу забруднювачів атмосфери.
2. Наведіть класифікації джерел забруднення повітря та атмосферних забруднень.
3. Опишіть основні властивості пилу та їх вплив на ефективність роботи пилоочищувальних апаратів.
4. Наведіть порядок розрахунку ефективності вловлювання пилу.
5. Розкажіть про вплив властивостей газів на роботу систем пило- і золоуловлювання.
6. Охарактеризуйте основні механізми осадження завислих в газах частинок.
7. Обґрунтуйте суть гравітаційного осадження частинок пилу.
8. Опишіть особливості відцентрового та інерційного осадження частинок.
9. Розкажіть про можливості застосування електричних зарядів для осадження частинок пилу.
10. Охарактеризуйте основні методи захисту навколишнього природного середовища.
11. Розкрийте суть основних способів очищення газів.
12. Поясніть важливість необхідності визначення ступеня очищення газів.
13. Дайте означення видів гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі.
14. Поясніть суть гранично допустимих та тимчасово погоджених викидів шкідливих речовин.

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ДО 2 РОЗДІЛУ

- L, l – довжина, лінійний параметр, м;
 B, b – ширина, лінійний параметр, м;
 H, h – висота, м;
 S – площа, м²;
 v – швидкість газу, м/с;
 ω_a – швидкість витання (осадження), м/с;
 d_{\pm} – діаметр частинок, мкм;
 Q – витрати газу, м³/с;
 μ – динамічна в'язкість, Па·с;
 ρ_a, ρ_{\pm} – густина газів, частинок, кг/м³;
 g – прискорення вільного падіння, м/с;
 D – діаметр, м, мм;
 ξ – коефіцієнт гідравлічного опору;
 $\hat{E}_1, \hat{E}_2, \hat{E}_3$ – поправкові коефіцієнти;
 d_{50} – середній розмір частинок пилу, мкм;
 $\lg \delta_{\pm}$ – ступінь полідисперсності пилу;
 η – коефіцієнт очищення газів;
 τ – час, с;
 \dot{O}, P – температура і тиск при робочих умовах відповідно до К, Па;
 \dot{O}_0 – абсолютна температура, К;
 t – температура, °С;
 P_0 – нормальний атмосферний тиск, 101300 Па.

Прийняті скорочення

- ЗГ – забруднені гази;
ОГ – очищені гази;
УП – уловлений пил.

2 ЗНЕПИЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ГАЗІВ У СУХИХ ІНЕРЦІЙНИХ АПАРАТАХ

Видалення пиловидних частинок з газових потоків з використанням сили ваги, інерційних і, зокрема, відцентрових сил інколи (частіше всього в зарубіжній літературі) називають *механічним способом осадження пилу*.

Осадження в полі сили ваги (гравітації) застосовують для грубого очищення запилених газів від частинок розміром 30...100 мкм і більше, інерційне осаджування – для видалення частинок розміром 25...30 мкм, а відцентрове – для видалення ще більш дрібних (до 5 мкм) частинок.

Основним принципом роботи сухих інерційних пиловловлювачів є виведення пилових частинок з газопилового потоку шляхом осадження частинок під дією сили ваги. За цим принципом працюють всі апарати сухого інерційного знепилювання газів: пилоосаджувальні камери, жалюзійні апарати, циклони в одиночному і груповому виконанні, батарейні циклони, прямоточні циклони, інерційні пиловловлювачі, вихрові пиловловлювачі, димососи-пиловловлювачі [26-36].

В таблиці 2.1 згідно з [53] наведені деякі характерні параметри сухих механічних пиловловлювачів, які дозволяють провести їх порівняльний аналіз при використанні в промисловій практиці.

2.1 Пилоосаджувальні камери

Пилові камери діють за принципом осадження частинок при повільному русі пилогазового потоку через робочу камеру, тому основними розмірами камери є її висота і довжина (рис. 2.1). Геометричні розміри визначають час перебування пилогазового потоку в камері і відповідно ефективність очищення.

Пилові камери громіздкі і мають низьку ефективність. Тому вони застосовуються в основному для вловлювання великих частинок сировинних матеріалів після оберткових цементних печей, печей для обпалювання магнезиту і доломіту тощо. Матеріалом для будування камер можуть служити цегла, збірний залізобетон, сталь, дерево (для холодних газів). Габаритні розміри камери, необхідні для осадження твердих частинок з газового потоку, визначають за формулою

$$L=Hv_r/\omega_a, \quad (2.1)$$

де L – довжина камери, м;

H – висота камери, м;

v_r – швидкість руху газів в камері (звичайно 0,2... 1,0 м/с);

ω_a – швидкість витання частинок заданого розміру, м/с.

Таблиця 2.1 – Основні параметри пилоосаджувачів, жалюзійних пиловловлювачів, сухих батарейних циклонів з тангенціальним входом газу і сухих циклонів з осьовим входом газу

Тип	Виконання		Продуктивність 10 ³ ·м ³ /год, не більше	Швидкість газу, м/с*	Температура (розрахункова), °С	Запиленість газу, г/м ³ , не більше		Гідравлічний опір ΔР, Па	Ефективність очищення**%, не менше	
	за характером газового потoku	за кількістю робочих елементів				для не- злип- лого пилу	для середньо- злиплого пилу			
1	З поперечним потоком	-	100	Від 1	Від мінус 43 до плюс 527°С ***	100	100	До 100	25	
	З протитоком	-	10	до 2			50			
2	З розподіленням потoku		50	Від 12 до 15		200		150	До 1000	65
	Без розподілення потoku			Від 10 до 15			100	До 500	40	
3	З тангенціальним входом	одиначні	100			1000	250	Від 600 до 2200	80	
		групові						Від 600 до 2500		
	З осьовим входом	батарейні	60	Від 12 до 22			600	250	Від 600 до 3000	85
	Вихровий з додатко- вим підводом газу		30	Від 12 до 22	500		100	Від 1000 до 2000	-	

Примітки:

- * Для типів 1 і 2 – у робочому перерізі, для типу 3 – на вході у пиловловлювач.
- ** Ефективність очищення наведена для середньо дисперсного пилу густиною 2400 кг/м³.
- *** Розрахункові температури пиловловлювачів повинні вибиратися з ряду: -43, -23, 37, 77, 117, 247, 398, 527°С.

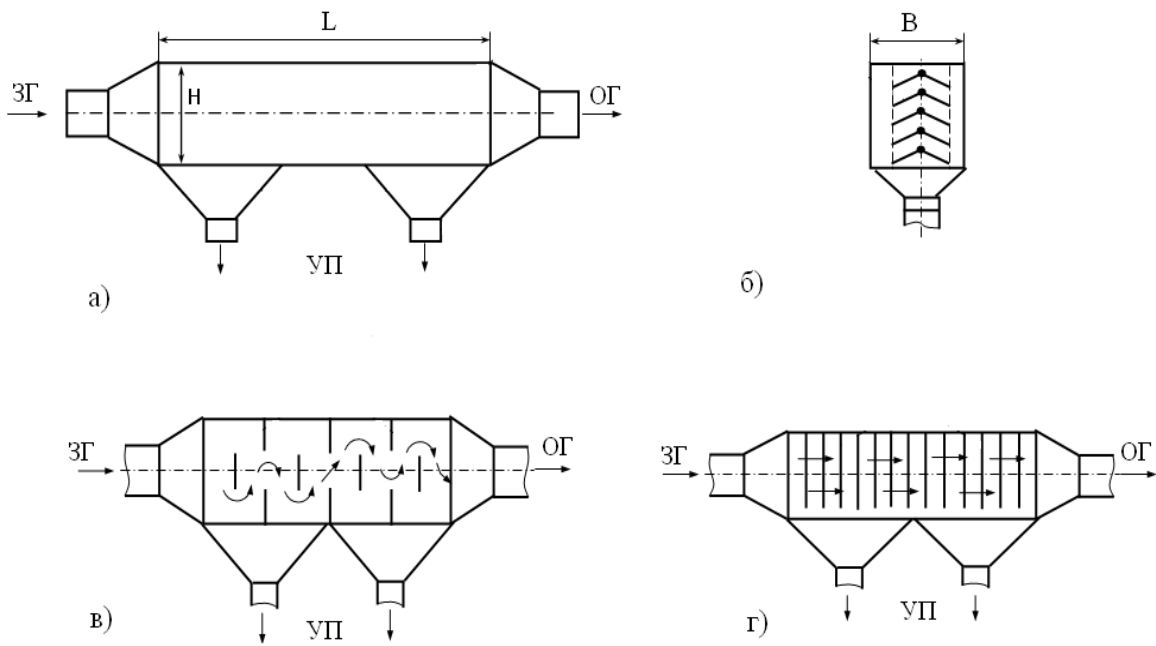


Рисунок 2.1 – Схеми пилоосаджувальних камер:

- а) найпростіша конструкція з розширенням пилопроводу;
- б) багатополічна;
- в) з перегородками;
- г) з ланцюговими чи дротяними завісами.

Визначимо швидкість $v_{\dot{z}}$ через витрати газу Q . Для цього витрати поділимо на площу перерізу каналу ($H B$). Підставивши з формули 1.25 значення ω_a , знайдемо мінімальний розмір частинок $d_{\dot{z}}$, м, які будуть повністю осаджені в камері

$$d_{\dot{z}} = \sqrt{\frac{18\mu_{\dot{z}} Q}{LBg\rho_{\dot{z}}}}, \quad (2.2)$$

- де Q – витрати газу, $\text{м}^3/\text{с}$;
- L – довжина камери, м;
- B – ширина камери, м;
- $\mu_{\dot{z}}$ – динамічна в'язкість, $\text{Па}\cdot\text{с}$;
- g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$;
- $\rho_{\dot{z}}$ – густина частинок, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для рівномірного газорозподілення по перерізу пилоосаджувальні камери можуть обладнуватися дифузорами і газорозподільними решітками, а для зниження висоти осадження частинок – горизонтальними

чи похилими полицями. В деяких конструкціях пилових камер для підвищення їх ефективності передбачається влаштування ланцюгових чи дротяних завіс і відхильних перегородок, що дозволяє додатково до гравітаційного ефекту використовувати ефект інерційного осадження частинок при обтіканні потоком газів різних перешкод.

Ступінь очищення газів у пилоосаджувальних камерах звичайно не перевищує 40...50%. При цьому задовільно осаджуються тільки частинки пилу більше 40...50 мкм.

2.2 Інерційні пиловловлювачі

Ефективність знепилювання в простій пилоосаджувальній камері може бути збільшена, а габарити її зменшені, якщо ефекту гравітаційного осадження частинок додати додатково момент руху вниз. Цей принцип закладений в основу багатьох конструкцій пиловловлювачів. Типовим представником цього класу пиловловлювачів є пилові мішки (рис. 2.2, а), які застосовуються в металургії. В такому апараті вхідна циліндрична труба додає частинкам додатково до гравітаційної сили момент, рівний приблизно $g/3$. Наприклад, такий пиловловлювач, встановлений за доменною піччю, забезпечує ступінь вловлювання до 65...80% частинок більше 30 мкм.

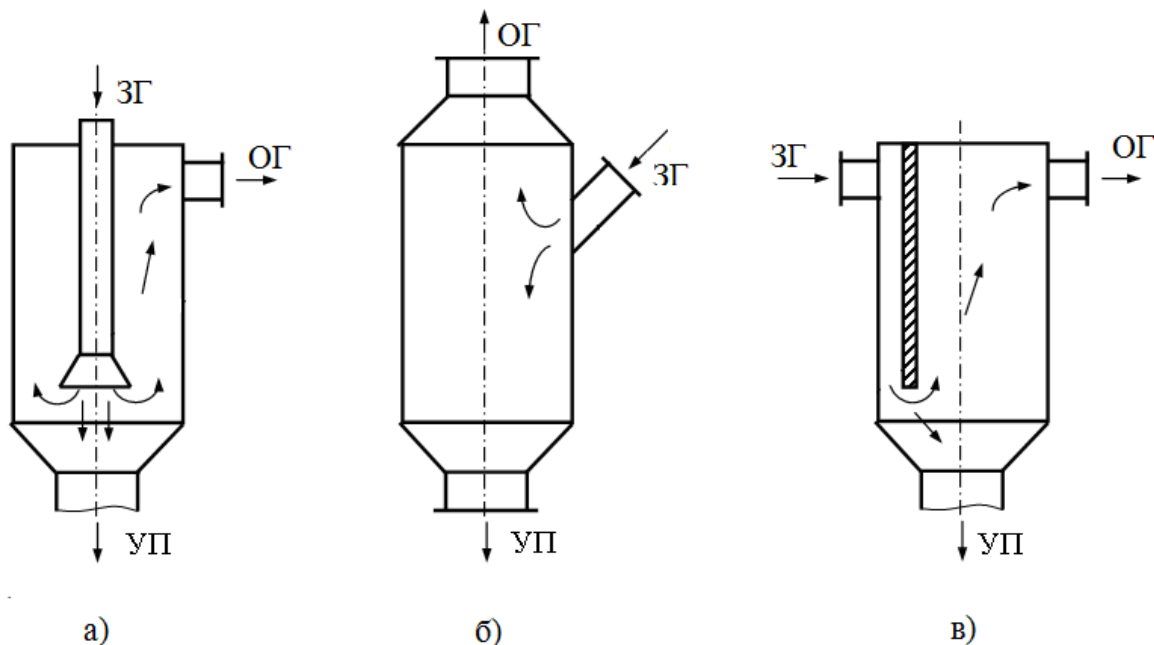


Рисунок 2.2 – Найпростіші пилоосаджувачі інерційної дії:

- а) пиловий мішок з центральним підведенням газу;
- б) пиловий мішок з боковим підведенням газу;
- в) пилоосаджувач з відбивною перегородкою.

Інерційний пиловловлювач, наведений на рис. 2.3 б вмонтовується в газоходи діаметром більше 2 м. Випадання великих частинок в бункер відбувається внаслідок відхилення потоку від прямолінійного руху.

Камера з перегородкою (рис. 2.2, в) за ефективністю не набагато відрізняється від звичайної осаджувальної камери, але має більший гідравлічний опір, який можна знизити за рахунок більш плавних поворотів.

У сучасних конструкціях інерційних пиловловлювачів механізм осадження частинок заснований на зміні напрямлення руху. Пилогазовий потік проходить вертикально вниз циліндричним газоходом, потім змінює напрямлення руху на 180° і проходить через кільцевий зазор. Вловлений пил зсипається в бункер. Ефект пиловловлювання значно залежить від правильно підбраного кільцевого зазору.

2.3 Жалюзійний пиловіддільник

Для розділення газового потоку на очищений газ і збагачений пилом газ використовують жалюзійний пиловіддільник (рис. 2.3). На жалюзійній решітці 1 газовий потік витратою Q розділяється на два потоки витратою Q_1 і Q_2 . Звичайно $Q_1=(0,8...0,9)Q$, а $Q_2=(0,1...0,2)Q$. Відділення частинок пилу від основного газового потоку на жалюзійній решітці проходить під дією інерційних сил, які виникають при повороті газового потоку на вході в жалюзійну решітку, а також за рахунок ефекту відбиття частинок від поверхні решітки при співударянні. Збагачений пилом газовий потік після жалюзійної решітки направляється до циклону 2, де очищається від частинок, і знову вводиться в трубопровід за жалюзійною решіткою. Жалюзійні пиловіддільники відрізняються простотою конструкції і добре компонується в газоходах, забезпечуючи ефективність очищення 0,6 і більше для частинок розміром понад 20 мкм. Вони застосовуються для очищення димових газів від великого дисперсного пилу при температурі до $450...600^\circ\text{C}$.

Основними позитивними якостями жалюзійних пиловіддільників є малий гідравлічний опір і значно менші порівняно з будь-якими іншими пиловловлювачами розміри. Негативні якості – зношення пластин решітки при високій концентрації особливо великого пилу і можливість утворення відкладень при охолодженні газів до точки роси.

Строк служби решіток жалюзійного пиловловлювача при пиловидному спалюванні вугілля складає 6 місяців. Причому зниження ефективності очищення за рахунок їх зношення спостерігається на третьому місяці експлуатації. Тому з ростом вимог до систем очищення газів і удосконалення пилоочищувальних установок других типів для заново проєктованих газоочисних установок спостерігається тенденція до повного відказу від використання жалюзійних пило- і золовловлювачів.

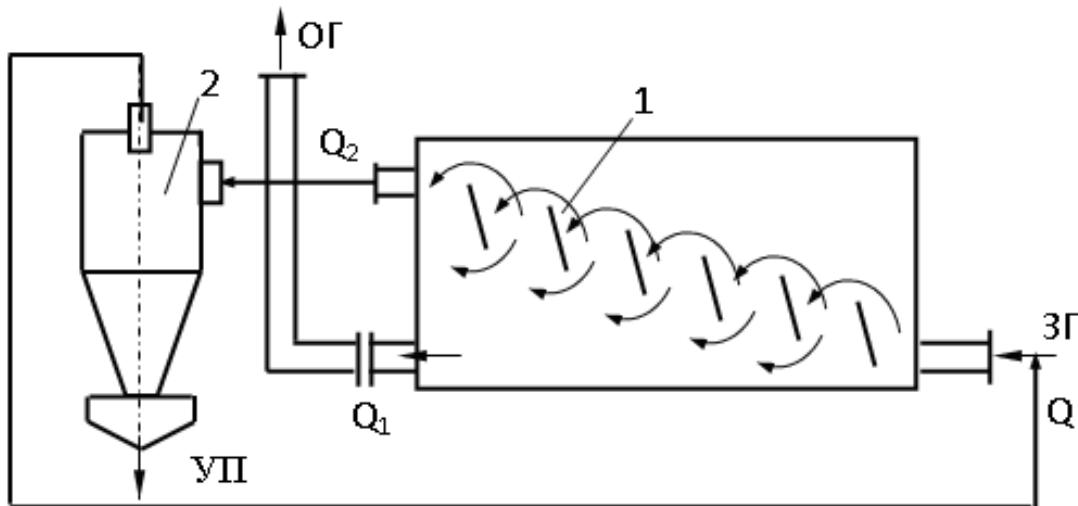


Рисунок 2.3 – Конструктивна схема жалюзійного пиловловлювача з пластинами:

1 – жалюзійні пластини; 2 – циклон

2.4 Циклони

Циклонні апарати завдяки дешевизні та простоті будови і обслуговування, порівняно невеликому опору і високій продуктивності є найрозповсюдженішим типом сухого механічного пиловловлювача.

Циклонні пиловловлювачі мають такі переваги:

- відсутність рухомих частин в апараті;
- надійне функціонування при температурах газів майже до 500°C без будь-яких конструктивних змін (якщо передбачається використання більш високих температур, то апарати можна виготовляти із спеціальних матеріалів);
- можливість вловлювання абразивних матеріалів при захисті внутрішньої поверхні циклонів спеціальним покриттям;
- пил вловлюється в сухому вигляді;
- гідравлічний опір апаратів майже постійний;
- апарати успішно працюють при високих тисках газів;
- пиловловлювачі надто прості у виготовленні;
- зростання запиленості газів не приводить до зниження фракційної ефективності очищення.

Правильно запроектовані циклони можуть експлуатуватися надійно протягом багатьох років.

Разом з тим необхідно мати на увазі, що гідравлічний опір високо-ефективних циклонів досягає 1250...1500 Па, тому частинки розміром менше 5 мкм вловлювати циклонами погано.

На рис. 2.4 наведено схематичне зображення потоків повітря в

циклоні. Запилене повітря з великою швидкістю вводиться тангенціально в апарат. Сформований тут обертовий потік спускається кільцевим простором (утвореним циліндричною частиною циклона і вихлопною трубою) в його конічну частину, а потім, продовжуючи обертатися, виходить через вихлопну трубу. Частинки, маса яких достатньо велика, відділяються від потоку, досягають стінок циклона і під дією гравітаційних сил та захоплювальної дії осьової течії опускаються в бункер циклона. Чим більші частинки, завислі в потоці, і чим інтенсивніший (у відомих межах) обертовий рух, тим ефективніше очищається газ.

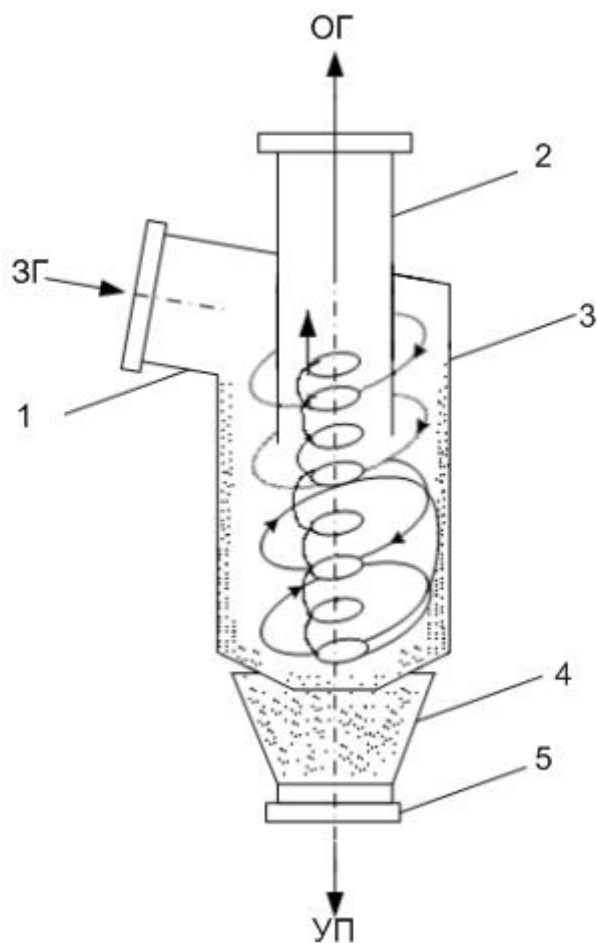


Рисунок 2.4 – Схема циклона:
 1 – вхідний патрубок; 2 – вихлопна труба; 3 – корпус;
 4 – пілоосаджувальний бункер; 5 – пиловий затвор

За конструктивним виконанням циклони відзначаються великою різноманітністю влаштування підведення запиленого газу (тангенціальний, тангенціальний похилий, спіральний, осьовий з направлявальним апаратом) і самого корпусу (циліндричний, перехідний в конус, з переважно розвинутою конічною частиною, конічний, з розширеною

конічною частиною, з подвійною стінкою).

Всі практичні задачі щодо очищення газів від пилу з успіхом вирішуються циліндричними (ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24) і конічними (СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М і СДК-ЦН-33) циклонами НДІОГАЗУ (державний науково-дослідний інститут з промислового і санітарного очищення газів). Конструктивні схеми і типові розміри циліндричних і конічних циклонів НДІОГАЗ наведені відповідно на рис. 2.5 і в табл. 2.2 і 2.3.

Основні параметри сухих одиночних циклонів з тангенціальним входом газу наведені в табл. 2.4 [53].

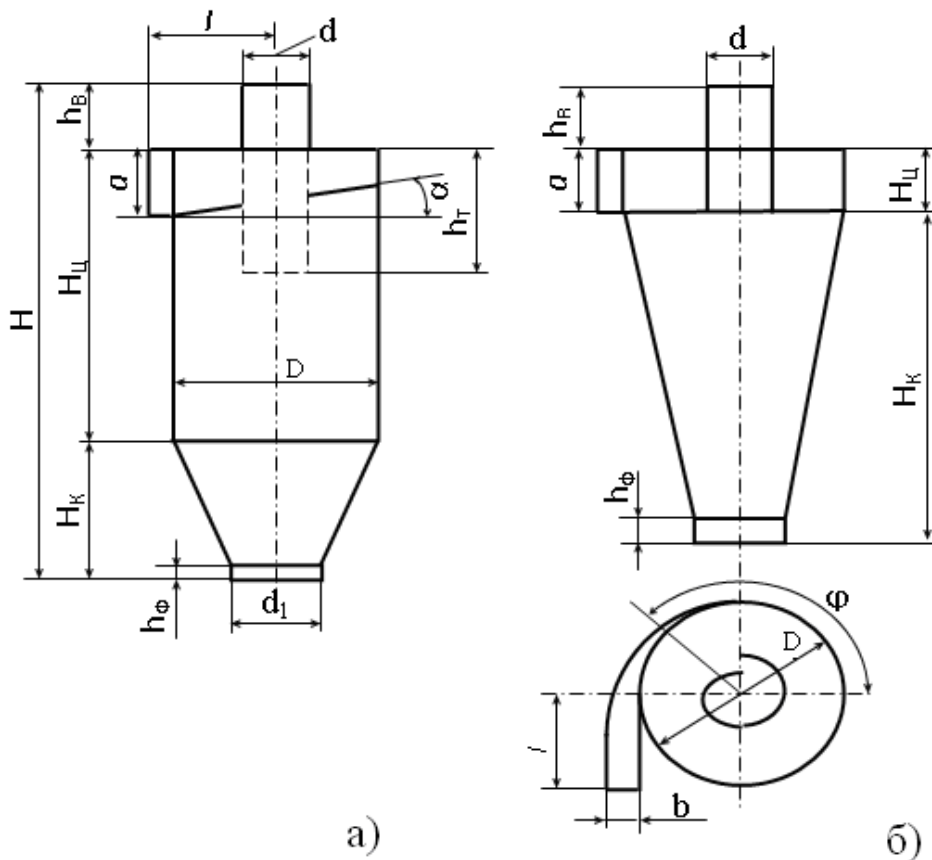


Рисунок 2.5 – Конструктивні схеми циклонів:
а) циліндричний; б) конічний

Для вищеперерахованих циклонів прийнятий такий ряд внутрішніх діаметрів D , мм: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 600, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 і 3000. В табл. 2.2 і 2.3 геометричні розміри циліндричних і конусних циклонів дані в частках внутрішнього діаметра D .

Для всіх циклонів бункери мають циліндричну форму діаметром D_a , рівним $1,5D$ для циліндричних і $(1,1...1,2) D$ для конічних циклонів. Висота циліндричної частини бункера складає $0,8D$, днище бункера виконується з кутом 60° між стінками, вихідний отвір бункера має діаметр 250 або 500 мм.

Таблиця 2.2 – Конструктивні розміри циліндричних циклонів (в частках діаметра D) [42]

Геометричний розмір	Тип циклона		
	ЦН-15/ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-11
Кут нахилу кришки і вхідного патрубку циклона ξ , град.			
Висота вхідного патрубку h_n	15/15	24	11
Висота вихлопної труби h_t	0,66/0,66	1,11	0,48
Висота циліндричної частини циклона H_0	1,74/1,5	2,11	1,56
Висота конуса циклона H_6	2,26/1,51	2,11	2,06
Загальна висота циклона H	2,0/1,5	1,75	2,0
Висота зовнішньої частини вихлопної труби h	4,56/3,31	4,26	4,38
Внутрішній діаметр пиловипускного отвору d_1	-	0,59	-
Ширина вхідного патрубку в циклоні b_1	-	0,3 – 0,4	-
Ширина вхідного патрубку на вході b_2	-	0,2	-
Довжина вхідного патрубку l	-	0,26	-
Висота фланця h_0	-	0,6	-
		0,1	-

Таблиця 2.3 – Конструктивні розміри конічних циклонів (в частках діаметра D) [42]

Геометричний розмір	Тип циклона		
	СДК-ЦН-34	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34 М
Висота циліндричної частини H_0 і висота заглиблення вихлопної труби h_0	0,535	0,515	0,4
Висота конічної частини H_c	3,0	2,11	2,6
Внутрішній діаметр вихлопної труби d	0,334	0,340	0,22
Внутрішній діаметр пиловипускного отвору d_1	0,334	0,229	0,18
Ширина вхідного патрубку b_1	0,264	0,214	0,18
Висота зовнішньої частини вихлопної труби h_c	0,2 - 0,3	0,515	0,3
Висота фланця h_0	0,1	0,1	0,1
Довжина вхідного патрубку l	0,6	0,6	0,6
Висота вхідного патрубку h_1	0,535	0,2 - 0,6	0,4
Змінний радіус завитка r	$D/2 + b\varphi/2\pi$	$D/2 + b$	$D/2 + b\varphi/\pi$
Внутрішній діаметр циліндричної частини D	До 3600 мм		До 4000 мм

Таблиця 2.4 – Основні параметри сухих одиночних циклонів з тангенціальним входом газу [53]

Внутрішній діаметр циклона, мм	Площа перерізу циліндричної частини циклона, м ² , розрахункова	Циклон з кутом нахилу вхідного патрубку 15°			
		Продуктивність, м ³ /год, розрахункова		Маса, кг, не більше	
		при $\Delta P / \rho_t = 500 \text{ м}^2/\text{с}^2$	при $\Delta P / \rho_t = 1000 \text{ м}^2/\text{с}^2$	з камерою очищеного газу у вигляді завитка	
				з циліндричним бункером	з пірамідальним бункером
1	2	3	4	5	6
300	0,07	660	930	120	208
400	0,12	1170	1650	185	270
500	0,19	1840	2580	290	385
600	0,28	2640	3720	410	515
700	0,38	3600	5100	540	660
800	0,50	4700	6600	680	815
900	0,63	6000	8400	835	995
1000	0,78	7300	10400	1030	1185
1200	1,13	10500	14900	1460	1630
1400	1,54	14300	20200	1980	2180
1600	2,01	19200	27000	3300	3130
1800	2,54	23700	33600	4380	4160
2000	3,14	29200	41800	5860	6140
2200	3,8	35500	50200	7440	7400
2400	4,52	42500	60000	8920	8830
2600	5,31	50000	70000	10270	10460
2800	6,15	57500	81200	14820	14980

Продовження таблиці 2.4

Циклон з кутом нахилу вхідного патрубку 24°			
Продуктивність, м ³ /год, розрахункова		Маса, кг, не більше	
при $\Delta P / \rho_t = 300 \text{ м}^2/\text{с}^2$	при $\Delta P / \rho_t = 600 \text{ м}^2/\text{с}^2$	з камерою очищеного газу у вигляді завитка	
		з циліндричним бункером	з пірамідальним бункером
7	8	9	10
1480	-	-	-
1480	2100	195	285
2320	3280	305	400
3340	4730	425	545
4550	6450	555	685
5900	8400	700	850
7500	10600	880	1040
9300	13100	1070	1240
13400	18900	1520	1700
18200	27000	2050	2250
23900	33700	3340	3180
29800	42600	4500	4260
37000	52600	6060	6330
45000	63500	7700	7650
53800	75700	9260	9170
63000	88900	10700	10810
72800	100000	15500	15570

Примітка. ρ_t – густина очищеного газу при робочих умовах.

Максимальне розрідження (тиск) газів, які поступають в циклони, не повинно перевищувати 2500 Па. Температура газів для уникнення конденсації парів рідини вибирається на 30...50°C вищою температури точки роси, а за умовами міцності конструкції – не вище 400° С. Продуктивність циклона залежить від його діаметра, збільшуючись зі зростанням останнього. Ефективність очищення циклонів серії ЦН зменшується зі збільшенням кута входу в циклон. Циліндричні циклони серії ЦН рекомендується використовувати для попереднього очищення газів і встановлювати перед фільтрами чи електрофільтрами.

Конічні циклони серії СК типу СДК-ЦН-33 і СК-ЦН-34 відрізняються від циліндричних циклонів більшим опором, значно більшою ефективністю і, в деяких випадках, можуть забезпечити необхідне очищення викидів, замінивши більш складні в експлуатації мокрі пиловловлювачі. Зовнішньо ці циклони відрізняються від циліндричних більш видовженою конічною частиною, спіральним вхідним патрубком і меншим діаметром вихлопної труби.

2.4.1 Технологічні розрахунки циклонів

Для розрахунку циклонів необхідні такі початкові дані:

- джерело пилу (описання технологічного процесу, який спричинив забруднення навколишнього середовища);
- кількість газу, що очищається при робочих умовах Q , м³/с;
- густина газу при робочих умовах ρ , кг/м³;
- динамічна в'язкість газу при робочій температурі μ , Па·с;
- дисперсний склад пилу, який задається двома параметрами d_{50} , мкм, і $\lg \delta_{\pm}$;
- запиленість газу \tilde{N}' , г/м³;
- густина частинок пилу ρ_{\pm} , кг/м³;
- необхідна ефективність очищення газу η , %.

Розрахунок проводиться методом послідовних наближень в такій послідовності.

1. Задаємося типом циклона і за табл. 2.5 або 2.6 визначаємо оптимальну швидкість газу в апараті V_{opt} , м/с.

2. Визначаємо необхідну площу перерізу циклона S , м²:

$$S = \frac{Q}{V_{\text{opt}}} \quad (2.3)$$

3. Знаходимо діаметр циклона D , м:

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (2.4)$$

Знайдене значення D округляємо до величин: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, 3000 мм. Якщо розрахунковий діаметр перевищує його максимально допустиме значення, то необхідно застосувати декілька N паралельно встановлених циклонів.

Таблиця 2.5 – Параметри, які визначають ефективність циклонів

Параметри	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СКД-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34 М
d_{50} , мкм	8,50	6,00	4,50	3,65	2,31	1,95	1,13
$\lg \delta^2_{\div}$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340
$v_{\hat{i}\hat{o}}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

Таблиця 2.6 – Параметри, які визначають ефективність циклонів конструкції ВЦНДІОП і Гіпродеревопром

Параметри	Марка циклона			
	СІОП	ВЦНДІОП	Ц	„Клайпеда”
d_{50}^t , мкм	2,6	8,6	4,12	3,1
$\lg \delta^2_{\div}$	0,28	0,32	0,34	0,25
$v_{\hat{i}\hat{o}}$, м/с	1,00	4,00	3,3	1,1
ξ	1400	75	210	1300

4. За вибраним діаметром циклона знаходимо дійсну швидкість v , м/с, в циклоні:

$$v = \frac{4Q}{\pi ND^2}. \quad (2.5)$$

Дійсна швидкість газу в циклоні не повинна відхилитися від оптимальної більше ніж на 15%.

5. Приймаємо з табл. 2.6 або 2.7 коефіцієнт гідравлічного опору, відповідний заданому типу циклона.

Для циклонів НДІОГАЗ (одиначних чи груп) вводяться уточнювальні поправки за формулою

$$\xi = K_1 K_2 \xi_{6500}^{\text{III}} + \hat{E}_3, \quad (2.6)$$

де ξ_{6500}^{III} - коефіцієнт гідравлічного опору одиничного циклона

діаметром 500 мм (табл. 2.7). Індекс „с” означає, що циклон працює в гідравлічній мережі, а „п” - без мережі, тобто безпосередній випуск в атмосферу;

\hat{E}_1 - поправковий коефіцієнт на діаметр циклона (табл. 2.8);

\hat{E}_2 - поправковий коефіцієнт на запиленість газу (табл. 2.9);

\hat{E}_3 - коефіцієнт, який враховує додаткові втрати тиску, пов'язані з компонуванням циклонів в групу (табл. 2.10). Для одиничних циклонів $\hat{E}_3 = 0$.

Таблиця 2.7 – Значення коефіцієнтів опору циклонів типу НДІОГАЗ ($D = 500$ мм, $v = 3$ м/с)

Марка циклона	$\frac{d}{D}$	Без додаткових пристроїв		3 вихідним завитком	3 відводом 90° R/d=1,5	
		$\xi_{\delta 500}^{\text{III}}$	$\xi_{\delta 500}^{\text{III}}$		1/d=0...12 $\xi_{\delta 500}^{\text{III}}$	1/d>12 $\xi_{\delta 500}^{\text{III}}$
ЦН-11	0,59	245	250	235	245	250
ЦН-15	-	155	163	150	155	160
ЦН-15У	-	165	170	158	165	170
ЦН-24	-	75	80	73	15	80
СДК-ЦН-33	0,33	520	600	500	-	560
СК-ЦН-34	0,34	1050	1150	-	-	-
СК-ЦН-34 М	0,22	-	2800	-	-	-

Таблиця 2.8 – Вплив поправкового коефіцієнта \hat{E}_1 на діаметр циклона

D, мм	Марка циклона		
	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15 У, ЦН-34	СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34 М
150	0,94	0,85	1,0
200	0,96	0,90	1,0
300	0,96	0,93	1,0
450	0,99	1,0	1,0
500	1,0	1,0	1,0

Таблиця 2.9 – Значення поправкових коефіцієнтів K_2 на запиленість газів ($D_t = 0,6\text{мм}$)

Марка циклона	Запиленість газу C , г/м^3						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,92	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34 М	1	0,99	0,97	0,95	-	-	-

6. Знаходимо втрати тиску в циклоні

$$\Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вìт}} = \xi \rho v^2 / 2. \quad (2.7)$$

Якщо втрати тиску ΔP виявилися допустимими ($\Delta P_{\text{вìт}} \leq 2500 \text{ Па}$), переходимо до розрахунку повного опору очищення газу в циклоні. При цьому приймається, що коефіцієнт очищення газів в одиночному циклоні та в групі циклонів однаковий. В дійсності коефіцієнт очищення газів в групі циклонів може виявитися трохи нижчий, ніж в одиничному циклоні. Це пояснюється можливістю виникнення перетікання газу через загальний бункер, що знижує коефіцієнт очищення газів в групі циклонів.

Таблиця 2.10 – Значення поправкових коефіцієнтів K_3 для груп циклонів ЦН

Характеристика групового циклона	K_3
Кругова компоновка, нижнє організоване підведення	60
Прямокутна компоновка, циклонні елементи розташовані в одній площині. Відведення із загальної камери чистого газу	35
Таке саме, але завиткове відведення із циклонних елементів	28
Прямокутне компонування. Вільне підведення потоку в загальну камеру	60

7. Приймаємо з табл. 2.5 або 2.6 два параметри d_{50}^t і $\lg \sigma_{\frac{t}{\tau}}$, які характеризують ефективність вибраного типу циклона. Знаходимо значення параметра (медіанна тонкість очищення) d_{50}^t , мкм, при робочих

умовах (діаметр циклона D , швидкість потоку v , густина пилю ρ_a , динамічна в'язкість газу μ) за формулою

$$d_{50} = d_{50}^t \sqrt{(D/D_t)(\rho_{\pm}^t/\rho_{\pm})(\mu/\mu_t)(v_t/v)}, \quad (2.8)$$

де $D_t = 0,6$ м; $\rho_{\pm}^t = 1930$ кг/м³; $\mu_t = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $v_t = 3,5$ м/с - значення відповідно діаметра, густини пилю, в'язкості газу і швидкості потоку типового циклона.

8. Ефективність очищення газу в циклоні η , %, знаходимо за формулою

$$\eta = 50[1 + \hat{O}_{(6)}], \quad (2.9)$$

де $\hat{O}_{(6)}$ – таблична функція від параметра x , рівного:

$$\tilde{o} = \lg(d_{50} / d_{50}^t) / \sqrt{\lg^2 \sigma_{\pm}^t + \lg^2 \sigma_{\pm}}, \quad (2.10)$$

де d_{50} – середній розмір частинок пилю, мкм;

$\lg \sigma_{\pm}$ – ступінь полідисперсності пилю.

Значення d_{50} і $\lg \sigma_{\pm}$ для деяких видів пилю наведені в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Величини середнього розміру частинок (d_{50}) і полідисперсності ($\lg \sigma_{\pm}$) деяких видів пилю

Технологічний процес	Вид пилю	d_{50} , мкм	$\lg \delta_{\pm}$
Заточка інструменту	метал, абразив	38	0,214
Розмел в кульовому млині	цемент	20	0,468
Сушіння вугілля в барабані	кам'яне вугілля	15	0,334
Експериментальні дослідження	кварцовий пил	3,7	0,405

9. Знаходимо з додатка А параметр $\hat{O}_{(6)}$, і за формулою 2.9 розрахункове значення ефективності очищення газу циклоном. Якщо розрахункове значення η виявиться меншим необхідного з умов допустимого викидання пилю в атмосферу, то необхідно вибрати другий тип циклона з більшим значенням коефіцієнта гідравлічного опору. Для орієнтовних розрахунків необхідного значення ξ_{δ} рекомендується така залежність:

$$\xi_{\delta 2} = \xi_{\delta 1} \left(\frac{100 - \eta_1}{100 - \eta_2} \right)^2 \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{D_2}{D_1}, \quad (2.11)$$

де індекс 1 – відноситься до розрахункових, а індекс 2 – до необхідних значень параметрів циклона.

2.5 Групові та батарейні циклони

Зі збільшенням діаметра циклона при постійній тангенціальній швидкості потоку відцентрова сила, яка діє на пилові частинки, зменшується і ефективність пиловловлювача знижується. Крім того, влаштування одного високопродуктивного циклона утрудняє його розташування через велику висоту. В зв'язку з цим в техніці пиловловлювання широке застосування знайшли групові та батарейні циклони.

Групи частіше всього компонують з циклонів серії ЦН (ЦН-15, ЦН-24). Як правило, групи циклонів мають загальний колектор забрудненого газу, загальний збірник очищеного газу і загальний пиловий бункер. Групові циклони загальним числом 2...8 розташовують попарно, з числом 10...14 – навколо вертикального підвідного газоходу. Відведення очищеного газу від групи циклонів здійснюють через відводи, встановлені на кожному циклоні й об'єднані загальним колектором, або безпосередньо через загальний колектор групи.

Основні параметри сухих групових циклонів з тангенціальним ходом газу наведені в табл. 2.12.

Розрахунок групових циклонів проводиться за вище викладеною методикою.

БАТАРЕЙНІ ЦИКЛОНИ (мультициклони) складаються з декількох десятків або навіть сотень паралельно встановлених циклонних елементів, об'єднаних в одному корпусі з загальним підведенням і відведенням газів, а також з загальним бункером для пилу.

Батарейні циклони можуть бути складені зі звичайних і прямоточних циклонних елементів.

На рис. 2.6 наведена схема батарейного циклона зі звичайними елементами. Запилений газ через вхідний патрубок 2 надходить в розподільну камеру 4, звідки входить в кільцеві зазори між корпусами елементів 1 і вихлопними трубами. В цих зазорах встановлені напрямні апарати, які закручують потік газів. Вловлена зола чи пил надходить в загальний бункер 6. Знепилений газ через вихлопні труби надходить в камеру очищеного газу 3. Для закріплення корпусів елементів і вихлопних труб використовуються відповідно нижня і верхня опорні решітки 5.

Напрямні апарати для закручування газів в циклонних елементах найчастіше застосовують типу „гвинт” з двома гвинтовими лопатками,

нахиленими під кутом 25° , або типу „розетка” з вісьмома лопатками, нахиленими під кутом 25° чи 30° .

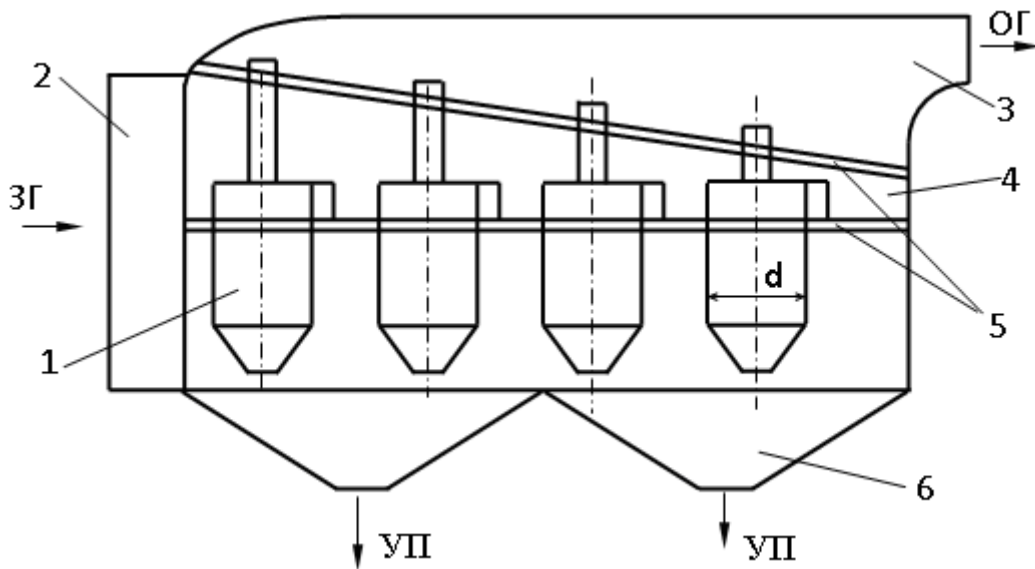


Рисунок 2.6 – Схема батарейного циклона:

- 1 – елементи з тангенціальними патрубками; 2 – вхідний патрубок;
3 – камера очищеного газу; 4 – конічна камера; 5 – опорні
конструкції; 6 – бункер для пилу

В батарейних циклонах з прямоточними елементами очищуваний газ не закручується, тому їх ефективність значно менша, ніж зі звичайними. В зв'язку з цим як самостійні пиловловлювачі вони застосовуються дуже рідко. Частіше їх застосовують для попереднього очищення перед такими високоефективними апаратами, як електрофільтри, рукавні фільтри тощо.

Технічні характеристики деяких широкорозповсюджених циклонів наведені в табл. 2.13.

2.5.1 Технологічні розрахунки батарейних циклонів

Для вибору типу циклонного елемента, визначення очікуваного коефіцієнта очищення, аеродинамічного розрахунку і проектування батарейних циклонів в цілому необхідні ті ж дані, що і для звичайних циклонів.

1. *Вибір типу, діаметра і числа циклонних елементів.* Розеточні напрямні апарати дають більш повне очищення газів порівняно з гвинтовими, однак вони більшою мірою схильні до забивання. Це в ряді випадків дає перевагу іншим типам елементів.

Обидва типи елементів можуть застосовуватися для вловлювання пилу, віднесенного до першої і другої групи за злипанням (табл. 1.3), а для третьої групи (середньозлипливий пил), як правило, необхідно віддати перевагу гвинтовим напрямним апаратам.

Таблиця 2.12 – Основні параметри сухих групових циклонів з тангенціальним входом газу [53]

Внутрішній діаметр циклона, мм	Кількість циклонів в групі	Площа перерізу циліндричної частини групи циклонів, м ² , розрахункова	Циклон з кутом нахилу вхідного патрубку 15°					
			Продуктивність, м ³ /год, розрахункова		Маса, кг, не більше			
					з камерою очищеного газу у вигляді завитка		з камерою очищеного газу у вигляді збірника	
			при $\frac{\Delta P}{\rho_t} = 500 \frac{\dot{V}^2}{\text{н}^2}$	при $\frac{\Delta P}{\rho_t} = 1000 \frac{\dot{V}^2}{\text{н}^2}$	з циліндричним бункером	з пірамідальним бункером	з циліндричним бункером	з пірамідальним бункером
1	2	3	4	5	6	7	8	9
300		0,14	1200	1700	245	280	275	310
400		0,25	2100	3000	425	450	440	465
500		0,39	3300	4600	630	670	630	665
600	2	0,56	4800	6700	880	880	860	865
700		0,76	6500	9200	1170	1130	1140	1110
800		1,05	8600	12000	1600	1480	1540	1420
900		1,27	10700	15100	2060	1810	1986	1750
400		0,5	4200	6000	920	845	910	640
500		0,78	6600	9300	1270	1210	1260	1150
600	4	1,13	9500	13500	1965	1675	1708	1600
700		1,54	13000	18300	2580	2180	2510	2110
800		2,01	17000	24000	3460	2840	3300	2730
900		2,54	21500	30300	4450	3560	4315	3450
500		1,17	10000	14000	-	1940	-	1880
600		1,69	14300	20200	-	2710	-	2640
700	6	2,31	19500	27500	-	3500	-	3400
800		3,11	23500	36000	-	4570	-	4410
900		3,81	32200	45400	-	5730	-	5580
500		1,57	13300	19000	-	2700	-	2620
600	8	2,26	19500	27400	-	4090	-	3815

Примітка. ρ_t – густина очищуваного газу при робочих умовах, кг/м³.

Продовження таблиці 2.12

Циклон з кутом нахилу вхідного патрубка 24°					
Продуктивність, м ³ /год, розрахункова		Маса, кг, не більше			
при $\frac{\Delta P}{\rho_t} = 300 \frac{\dot{v}^2}{\tilde{n}^2}$	при $\frac{\Delta P}{\rho_t} = 600 \frac{\dot{v}^2}{\tilde{n}^2}$	з камерою очищеного газу у вигляді завитка		з камерою очищеного газу у вигляді збірника	
		з циліндричним бункером	з пірамідальним бункером	з циліндричним бункером	з пірамідальним бункером
10	11	12	13	14	15
-	-	-	-	-	-
2400	3360	440	470	440	470
3800	5200	655	700	625	675
5400	7400	830	825	856	870
7400	10300	1200	1180	1120	1090
9600	13400	1630	1515	1520	1400
12000	17000	2120	1880	1980	1740
4800	6700	970	900	920	855
7600	10400	1400	1290	1280	1170
10800	14800	2070	2010	1900	1830
14800	20600	2730	2290	2500	2095
19200	26800	3490	3490	3050	2730
24000	34000	4665	3810	4330	3470
11400	15600	-	2070	-	1930
16200	22200	-	2689	-	2475
22200	30900	-	3740	-	3420
28800	40200	-	4920	-	4455
36000	51000	-	6230	-	5630
15200	20800	-	2900	-	2670
21600	29600	-	4387	-	3960

Таблиця 2.13 – Технічні характеристики батарейних циклонів серійного виготовлення [40]

Тип циклона	Число елементів в секції, шт.	Оптимальна швидкість газу в елементі, м/с	Продуктивність за газом однієї секції, м ³ /с	Коефіцієнт опору ξ	Максимальне розрідження, кПа	Область промислового застосування
ЦБ-254 Р (ОСТ 26-14-2003-77)	25; 30; 40; 50; 50; 80	4,5	5,6-16,2	90	15	Очищення газів при температурі до 400°C
ЦБ-231 У (ОСТ 26-14-2002-77)	12; 16; 20; 25; 30; 42; 56; 63	4,5	2,2-11,7	110	2,5-5,0	Те ж Очищення газів при температурі до 150°C
ЦБ-2 (ОСТ 108-033)	20; 25; 30; 36; 42; 56	4,5	4,84-13,6	70	15	Випускаються у вибухонебезпечному виконанні
ПБЦ (ТУ 12-44-21-038-75)	24; 36; 48; 96	3,5	4,2-16,7	150	40	Очищення газів при температурі до 120°C Випускаються у вибухобезпечному виконанні

Граничні значення запиленості для елементів 100, 150 і 250 мм при вловлюванні пилу другої групи наведені в табл. 2.14.

При вловлюванні пилу першої групи вказані в таблиці значення запиленості можуть бути збільшені в 2...3 рази, а для третьої групи ці величини повинні бути знижені удвічі. Для вловлювання пилу четвертої групи встановлення батарейних циклонів не рекомендується.

Необхідне число елементів визначають, виходячи з оптимальної швидкості потоку в елементі, яка звичайно лежить в межах від 3,5 до 4,75 м/с. Оптимальна швидкість для прямоточних елементів 11...13 м/с.

2. Витрати газу через один елемент q , м³/с, знаходять з формули:

$$q = v \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 \cdot v D^2, \quad (2.12)$$

де v – швидкість газу, м/с;

D – діаметр елемента, м.

3. Необхідне число n , шт., циклонних елементів

$$n = Q/q, \quad (2.13)$$

де Q – об'ємні витрати очищеного газу, м³/с.

Таблиця 2.14 – Максимально допустимі запиленості газу при вловлюванні слабозлипливого пилу, г/м³

Діаметр елемента, мм	Тип напрямного апарата	
	„гвинт”	„розетка”
100	25	15
150	50	35
250	100	75

4. Аеродинамічний опір батарейних циклонів ΔP , Па, знаходять за формулою:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho v^2}{2}, \quad (2.14)$$

де ρ – густина газу при робочих умовах, кг/м³;

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору (табл. 2.15).

5. Коефіцієнти очищення газів в елементі батарейного циклона визначаються за формулами для одиночних і групових циклонів (див. 2.4).

Необхідні для цього значення параметрів d_{50}^t і $lg \sigma_{\mp}^t$ наведені в табл. 2.16.

6. Загальний коефіцієнт очищення η' з врахуванням рециркуляції знаходять за формулою, яка враховує зниження ефективності на 10%:

$$\eta' = \frac{0,9\eta_{\pm} \cdot \eta}{1 - 0,9(1 - \eta_{\pm})}, \quad (2.15)$$

де η_{\pm} – коефіцієнт очищення відсмоктувальною лінією циклона;

η – коефіцієнт очищення в одиничному циклонному елементі.

Всі значення коефіцієнтів очищення газу виражені в частках від одиниці.

Таблиця 2.15 – Коефіцієнти гідравлічного опору ξ батарейних циклонів з різними елементами

Тип елемента	ξ
„Розетка”, $\alpha = 25^\circ$	90
„Розетка”, $\alpha = 65^\circ$	65
„Розетка” з безударним входом, $\alpha = 25^\circ$	65
„Гвинт”, $\alpha = 25^\circ$	85
Прямоточний ЦКТІ	8,5
„Енерговугілля”	100

Таблиця 2.16 – Параметри, які визначають ефективність елементів батарейних циклонів

Тип елемента	Діаметр елемента D, мм	Параметри	
		$d_{50}^t, \text{мкм}$	$\lg \sigma_{\pm}^t$
„Гвинт”, $\alpha = 25^\circ$	250	4,5	0,46
„Розетка”, $\alpha = 25^\circ$	100	3,0	0,46
„Розетка”, $\alpha = 25^\circ$	150	3,38	0,46
„Розетка”, $\alpha = 25^\circ$	250	3,85	0,46
„Розетка”, $\alpha = 30^\circ$	250	5,0	0,46
„Енерговугілля”	250	3,0	0,325
ЦКТІ, прямоточний	250	4,0	0,525

Примітки:

1. Дані для параметрів типу „гвинт”, „розетка”, „Енерговугілля” відносяться до таких умов роботи елементів: середня швидкість потоку $v = 4,5$ м/с, динамічна в'язкість газу $\mu = 23,7 \cdot 10^{-6} = 23,7 \cdot 10^{-6}$ Па·с, густина пилу $\rho = 2200$ кг/м³.

2. Параметри прямоточного елемента ЦКПІ відносяться до швидкості потоку $v = 12$ м/с, динамічної в'язкості $\mu = 18,8 \cdot 10^{-6}$ Па·с, густини пилу $\rho = 2200$ кг/м³.

2.6 Вихрові пиловловлювачі

Вихрові пиловловлювачі відносяться до прямоточних апаратів відцентрової дії. Вони відрізняються від циклонів високою (до 98...99%) ефективністю очищення газів від дрібнодисперсних частинок пилу (3...5 мкм), меншою питомою витратою енергії та можливістю очищення газів з вищою температурою (до 973 К). В той же час вихрові пиловловлювачі складніші за будовою і експлуатацією, потребують встановлення додаткового пристрою для подання вторинного повітря.

На рис. 2.7 наведені два основних типи вихрових пиловловлювачів: соплові та лопатні.

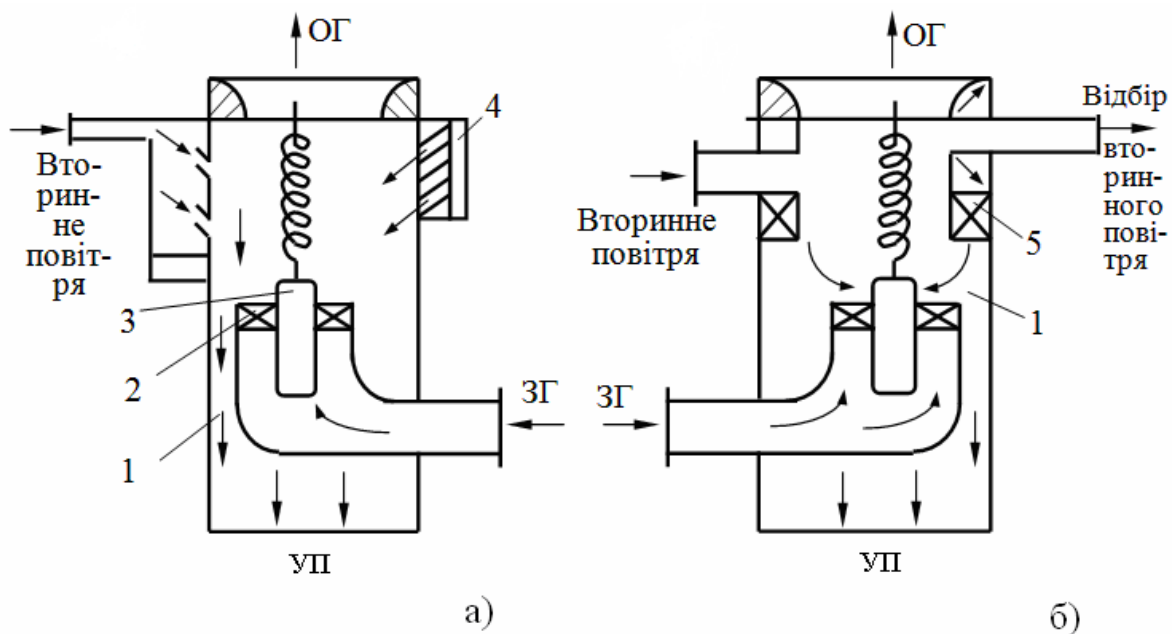


Рисунок 2.7 – Схематичне зображення вихрових пиловловлювачів:
 а) соплового типу; б) лопатного типу: 1 – робоча камера; 2 – підпірна шайба; 3 – лопатний завихрювач; 4 – сопловий завихрювач; 5 – кільцевий лопатний завихрювач

Запилений газ поступає в камеру 1 через вхідний патрубок з лопатними завихрювачами 2, внаслідок чого потік закручується і відцентрові сили, які виникли в ньому, відкидають частинки пилу до стінок апарата. Одночасно направляється зустрічний потік вторинного повітря, яке закручується за допомогою соплового 4 або кільцевого лопатного 5 завихрювача і рухається вздовж стінок камери, відводячи увесь пил у спеці-

альний бункер. Вторинне повітря для закручування потоку можна забирати із зовнішнього середовища, з потоку очищеного газу або з запиленого повітря. Останній варіант найбільш економічний; в цьому випадку можна підвищити продуктивність пиловловлювача на 40...65% без помітного зниження ступеня очищення.

Одиничні вихрові пиловловлювачі можна легко групувати, забезпечуючи при цьому очищення великих об'ємів (до 315000 м³/год) запиленого газу.

2.7 Динамічні пиловловлювачі

В динамічних пиловловлювачах очищення газів від пилу здійснюється за рахунок відцентрових сил і сил Коріоліса, які виникають при обертанні робочого колеса.

Динамічні пиловловлювачі, як правило, виконують одночасно функції вентилятора чи димососа і апарата для виділення з пилогазового потоку частинок пилу. За принципом дії динамічні пиловловлювачі поділяються на дві групи:

- апарати, в яких відцентрова сила направлена назустріч повітряному потоку;

- апарати, в яких напрям потоку і відцентрових сил збігаються. Вони характеризуються відносно невеликою ефективністю (50...90%) і малою продуктивністю (до 2000 м³/год.).

Із динамічних пиловловлювачів найбільше використовується димосос-пиловловлювач. Апарат призначений для вловлювання частинок пилу з середнім розміром більше 15 мкм. Димосос-пиловловлювач застосовується для очищення димових газів малих котелень, в ливарних виробництвах для очищення аспіраційних викидів і на асфальтобетонних заводах для очищення газів сушильних барабанів.

Робота димососа-пиловловлювача (рис. 2.8) заснована на такому принципі. За рахунок різниці тисків, що утворюються робочим колесом 2 на валу 1, запилений потік надходить в завиток 5 і набуває криволінійного руху. Під дією відцентрових сил частинки пилу відкидаються до периферії і разом з невеликою кількістю газів (8...10%) відводяться для остаточного відокремлення через патрубок 9 у виносний малогабаритний циклон 8, з'єднаний з завитком газоходами.

Розвантаження циклона проводиться через спускний стояк з затвором-мигалкою 9. Очищений газовий потік з циклона повертається в центральну частину завитка. З центральної зони завитка очищений газ надходить через направні апарати в робоче колесо димососа, а потім через кожух 3 викидається в димову трубу 10.

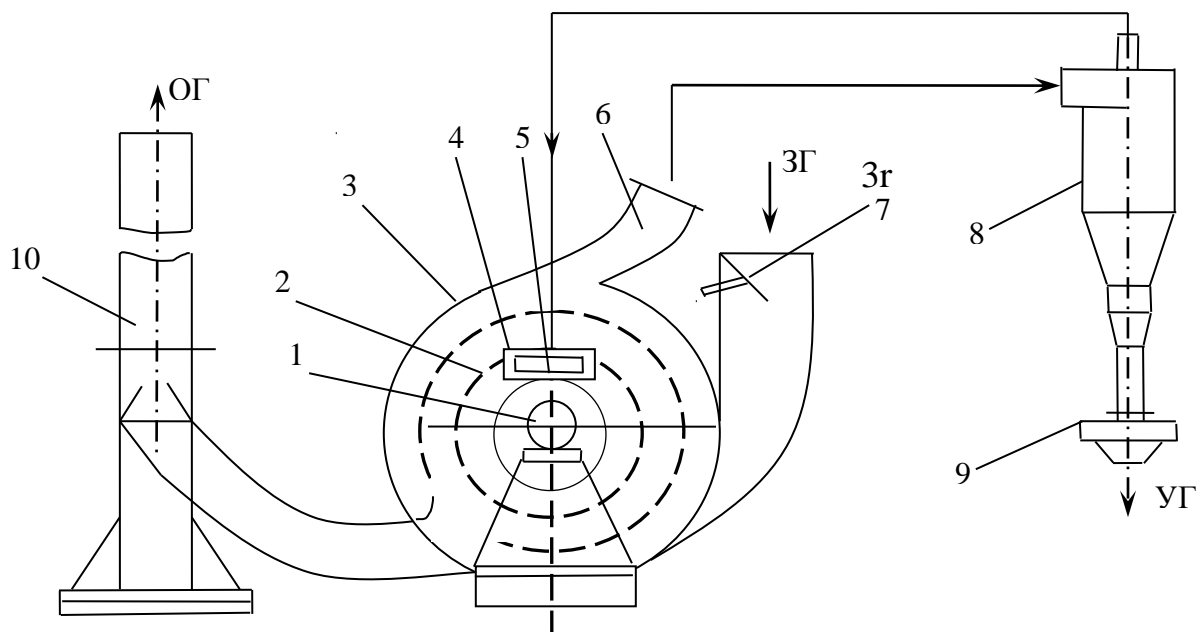


Рисунок 2.8 – Димосос-пилловловлювач:

- 1 – вал; 2 – робоче колесо; 3 – кожух; 4 – направний апарат;
 5 – завиток; 6 – патрубок; 7 – шибер; 8 – циклон; 9 – затвор-мигалка;
 10 – димова труба

Таблиця 2.17 – Технічні характеристики димососів-пилловловлювачів

Параметри	Тип димососа			
	ДП-8	ДП-10	ДП-12	ДП-13,5
Діаметр робочого колеса, мм	800	1000	1200	1350
Продуктивність, тис. м ³ /год	8,0-10	14-20	22-35	35-55
Повний тиск при t = 20°C, кПа	1,6-1,4	2,5-2,1	3,6-3,0	4,7-3,4
Допустима запиленість газів, г/м ³	100	100	150	200
Діаметр циклона (типу ЦН-15У), мм	300	450	650	800
Втрати тиску в циклоні при t = 20 °С, кПа	0,8	0,8	1,0	1.0
Допустима температура газів, °С	400	400	400	400
Ефективність вловлювання пилу з середнім розміром частинок 15-20 мкм	0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9	0,8-0,9

Регулювання продуктивності димососа здійснюється шибером 7, при закриванні якого газовий потік притискається до периферії завитка і, відповідно, ефективність апарата збільшується. Для захисту стінок від

знос передбачені захисні козирки з штабової сталі, які розташовують на боковинах завитка в периферійній зоні.

Технічні характеристики димососів-пиловловлювачів наведені в табл. 2.15.

Димосос-пиловловлювач поставляється замовнику в комплекті з виносним циклоном типу ЦН-І5У і затвором-мигалкою діаметром 100 мм.

2.8 Приклади вибору і розрахунку сухих інерційних пиловловлювачів

Приклад 2.1. Яку висоту треба дати шару газу між полицями пилоосаджувальної камери (рис. 2.1, б), щоб осіли частинки колчеданового пилу діаметром $d = 8$ мкм при витратах газу $Q = 1,2$ м³/с (при нормальних умовах). Довжина камери $L = 4,5$ м, ширина $B = 3,0$ м; загальна висота камери $H = 4,2$ м. Середня температура газу в камері $t = 450$ °С. В'язкість газу при цій температурі $\mu = 34 \cdot 10^{-6}$ Па·с, густина пилу $\rho_n = 4000$ кг/м³, густина газу $\rho_a = 500$ г/м³.

Розв'язування

1. Знаходимо витрати газу при заданих умовах

$$Q_p = Q \frac{T+t}{T} = 1,2 \frac{(273+450)}{273} = 3,2 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

2. Визначаємо лінійну швидкість газу в камері

$$v = \frac{Q_p}{BH} = \frac{3,2}{3 \cdot 4,2} = 0,25 \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

3. Знаходимо тривалість перебування газу в камері

$$\tau = \frac{L}{v} = \frac{4,5}{0,25} = 18 \text{ (с)}.$$

4. Теоретичну швидкість осадження шароподібних частинок визначаємо за формулою Стокса (при $R_e < 0,2$)

$$\omega_{i\tilde{n}} = \frac{d^2 (\rho_i - \rho_a) \cdot g}{18\mu} = \frac{(8 \cdot 10^{-6})^2 (4000 - 0,5) \cdot 9,81}{18 \cdot 34 \cdot 10^{-6}} = 0,0041 \text{ (} \hat{i} / \tilde{n} \text{)},$$

де d – діаметр частинок пилу, м;

ρ_i – густина пилу, кг/м^3 ;

ρ_a – густина газу, кг/м^3 ;

μ – в'язкість газу, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Дійсна швидкість осадження приймається рівною

$$\omega_{i\bar{n}}^{\ddot{a}}=0,5 \quad \omega_{i\bar{n}}=0,5 \cdot 0,0041=0,0028 \text{ і /с} .$$

5. Знаходимо відстань між полицями

$$h=\omega_{i\bar{n}}^{\ddot{a}}\tau=0,002 \cdot 18=0,036 \text{ (і) } =3,6 \text{ (мм) } .$$

6. Перевіряємо правильність застосування формули Стокса для визначення швидкості осадження

$$R_e=\frac{\omega_{i\bar{n}} \cdot d \cdot \rho_a}{\mu}=\frac{0,0041 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5}{34 \cdot 10^{-6}}=0,00048 .$$

Оскільки $R_a=0,00048 < 0,2$, то застосування формули Стокса допустимо.

Приклад 2.2. Визначити розміри пилоосаджувальної камери для осадження частинок пилу $d > 40$ мкм при витратах очищуваних газів $Q = 20000$ $\text{м}^3/\text{год}$, температурі газів $t = 600^\circ\text{C}$ і атмосферному тиску; густина пилу $\rho_i = 2500$ кг/м^3 , в'язкість газу при робочих умовах $\mu = 39,2 \cdot 10^{-6}$ $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Розв'язування

1. Визначаємо витрати газу при робочих умовах

$$Q_p=\frac{QT_p}{T_o}=\frac{20000(273+600)}{3600 \cdot 273}=17,8 \text{ (і /ї)} .$$

2. За формулою (2.2) знаходимо площу для камери

$$S=BL=\frac{18\mu Q_p}{d^2 g \rho_i}=\frac{18 \cdot 39,2 \cdot 10^{-6} \cdot 17,8}{(40 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 9,81 \cdot 2500}=320 \text{ (і } ^2 \text{)} .$$

3. Приймавши швидкість газу в горизонтальному напрямі $v = 1$ м/с, знаходимо площу вертикального перерізу камери

$$S_{\hat{A}} = HV = \frac{Q_p}{v} = \frac{17,8}{1} = 17,8 \text{ (і}^2\text{)}.$$

4. Приймаємо висоту осаджувальної камери $\hat{H} = 4$ м. Тоді ширина камери B і довжина L будуть рівні:

$$B = \frac{S_{\hat{A}}}{H} = \frac{17,8}{4} = 4,45 \text{ (і)};$$

$$L = \frac{S}{B} = \frac{320}{4,45} = 71,9 \text{ (і)}.$$

5. Для зменшення довжини камери в ній можна встановити полицки, що еквівалентно збільшенню площі дна камери. При наявності $n = 20$ полиць площа однієї полиці буде рівна

$$S_n = \frac{S}{n} = \frac{320}{20} = 16 \text{ (і}^2\text{)}.$$

6. Приймавши $n = 20$ і відстань між полицками $h = 0,2$ м, знаходимо загальну висоту камери

$$H = n \cdot h = 20 \cdot 0,2 = 4 \text{ (і)}.$$

7. При швидкості газу $v = 1$ м/с ширина камери залишається рівною 4,45 м, а довжина буда рівна

$$L = \frac{S_n}{B} = \frac{16}{4,45} = 3,6 \text{ (і)}.$$

Приклад 2.3. Вибрати і розрахувати пиловловлювач для очищення повітря, яке надходить в атмосферу від трьох шліфувальних верстатів, встановлених в механічному цеху. Температура повітря $t = 20^\circ\text{C}$, атмосферний тиск $P = 97400$ Па (730 мм рт. ст.). Необхідна ефективність очищення $\eta = 95\%$.

Розв'язування

1. При шліфуванні виділяється металевий і абразивний пил, концентрація якого $C' = 1 \text{ г/м}^3$, медіанний діаметр частинок $d = 25 \text{ мкм}$, густина частинок $\rho_{\pm} = 4000 \text{ кг/м}^3$ (додаток Е).

Об'єм повітря, яке необхідно очистити від одного верстата $Q_1 = 5000 \text{ м}^3/\text{год}$. Тоді загальна кількість очищуваного повітря буде рівна

$$Q = Q_r \cdot N = 5000 \cdot 3 = 15000 \text{ (і}^3/\text{ã ä).$$

2. Для очищення повітря проектуємо циклон СК-ЦН-34, який працює при розрідженні $P' = 2000 \text{ Па}$. Оптимальна швидкість повітря в циклоні $v_{\text{ііò}} = 1,7 \text{ м/с}$ (табл. 2.5).

3. Знаходимо густину ρ і динамічну в'язкість повітря при робочих умовах:

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_0 \frac{T_0(P_0 - P')}{P_0} = \rho_0 \frac{T_0(P_0 - P')}{P_0(T_0 + t)} = \\ &= 1,293 \frac{273(97400 - 2000)}{101300(273 + 20)} = 0,877 \text{ (ëã/î}^3); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_0 \frac{T_0 + C}{T + C} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} = \mu_0 \frac{T_0 + C}{(T_0 + t) + C} \left(\frac{T_0 + t}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} = \\ &= 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 124}{273 + 20 + 124} \left(\frac{273 + 20}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 18,3 \cdot 10^{-6} \text{ (ï à · ñ),} \end{aligned}$$

де T_0 – абсолютна температура, К;

P_0 – нормальний атмосферний тиск, Па;

T, P – температура і тиск газів при робочих умовах, відповідно К, Па;

ρ_0 – густина газів (повітря) при нормальних умовах (додаток Д);

μ_0 – динамічна в'язкість газів при нормальних умовах (додаток Д);

C – константа (додаток Д).

4. Визначаємо необхідну площу перерізу циклона

$$S = \frac{Q}{v_{\text{ііò}}} = \frac{15000}{3600 \cdot 1,7} = 2,45 \text{ (і}^2).$$

5. Знаходимо діаметр циклона

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,45}{3,14}} = 1,77 \text{ (і)}.$$

Вибираємо циклон діаметром 1,8 м.

6. Визначаємо дійсну швидкість повітря в циклоні

$$v = \frac{4Q}{\pi ND^2} = \frac{4 \cdot 15000}{3,14 \cdot 1 \cdot 1,8^2 \cdot 3600} = 1,64 \text{ (і /ñ)},$$

де N – число циклонів.

Відхилення від оптимальної швидкості складає:

$$\delta = \frac{v_{\text{ііò}} - v}{v_{\text{ііò}}} \cdot 100 = \frac{1,7 - 1,64}{1,7} \cdot 100 = 3,5\%,$$

тобто знаходиться в межах допустимого ($\pm 15\%$).

7. Знаходимо коефіцієнт гідравлічного опору циклона

$$\xi_{\text{ò}}^{\text{і}} = K_1 K_2 \xi_{\text{ò500}}^{\text{і}} = 1,0 \cdot 0,99 \cdot 1150 = 1138,5 \text{ (İ à ·ñ)},$$

де $K_1, K_2, \xi_{\text{ò500}}^{\text{і}}$ – коефіцієнти, вибрані з таблиць 2,7; 2,8; 2,9.

8. Втрати тиску в циклоні будуть рівні

$$\Delta P = \xi_{\text{ò}}^{\text{і}} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = 1138,5 \cdot 0,877 \cdot \frac{1,64^2}{2} = 1343 \text{ (İ à)},$$

тобто знаходяться в межах допустимих (табл. 2.1).

9. Значення медіанної тонкості очищення знаходимо за формулою

$$d_{50} = d_{50}^{\text{т}} \sqrt{\left(\frac{D}{D_{\text{т}}}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{\text{т}}^{\text{т}}}{\rho_{\text{т}}}\right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{\text{т}}}\right) \cdot \left(\frac{v_{\text{т}}}{v}\right)} =$$

$$= 1,95 \sqrt{\left(\frac{1,8}{0,6}\right) \cdot \left(\frac{1930}{4000}\right) \cdot \left(\frac{18,3 \cdot 10^{-6}}{22,2 \cdot 10^{-6}}\right) \cdot \left(\frac{3,5}{1,64}\right)} = 3,1 \text{ (і і)}.$$

де d_{50}^t – медіанна тонкість очищення типового циклона при таких параметрах (табл. 2.5): $D_t = 0,6$ м; $\rho_t^t = 1930$ кг/м³; $\mu_t = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па · с; $\nu_t = 3,5$ і /ñ.

10. Знаходимо параметр

$$x = \frac{\lg\left(\frac{d_{50}}{d_{50}^t}\right)}{\sqrt{\lg^2\sigma_{\ddot{}}^t + \lg^2\sigma_{\ddot{}}}} = \frac{\lg\left(\frac{3,1}{1,95}\right)}{\sqrt{(0,308)^2 + (0,214)^2}} = 1,428,$$

де $\lg\sigma_{\ddot{}}^t$ - ступінь полідисперсності пилу типового циклона (табл. 2.5);

$\lg\sigma_{\ddot{}}$ – ступінь полідисперсності дійсного пилу (табл. 2.11).

11. За додатком А знаходимо $F_{(x)} = 0,924$. Тоді ефективність очищення буде рівна:

$$\eta_{\phi} = 50[1 + \varphi(x)] = [1 + 0,924] = 96,2\% .$$

Таким чином, фактична ефективність очищення більша заданої

$$\eta_{\phi} > \eta, \quad 96,2 > 95 \% .$$

12. Знаходимо конструктивні розміри запроєктованого циклона діаметром $D = 1800$ мм (табл. 2.3);

- висота циліндричної частини $H_{\text{ц}}$ і висота заглиблення вихлопної труби h_{δ}

$$H_{\delta} = 0,535 \cdot D = 0,535 \cdot 1800 = 963 \text{ (і і) ;}$$

$$h_{\text{T}} = 0,535 \cdot D = 0,535 \cdot 1800 = 963 \text{ (і і) ;}$$

- висота конічної частини

$$H_{\text{к}} = 3 \cdot D = 3 \cdot 1800 = 5400 \text{ (і і) ;}$$

- внутрішній діаметр вихлопної труби

$$d = 0,334 \cdot D = 0,334 \cdot 1800 = 600 \text{ (і і) ;}$$

- ширина вхідного патрубку

$$b=0,264 \cdot D=0,264 \cdot 1800=475 \text{ (і і)};$$

- висота зовнішньої частини вихлопної труби

$$h_{\zeta}=(0,2+0,3) \cdot D=(0,2+0,3) \cdot 1800=360+540 \text{ (і і)};$$

- висота фланця

$$h_{\phi}=0,1 \cdot D=0,1 \cdot 1800=180 \text{ (і і)};$$

- довжина вхідного патрубку

$$l=0,6 \cdot D=0,6 \cdot 1800=1080 \text{ (і і)};$$

- висота вхідного патрубка

$$h_{\gamma}=0,535 \cdot D=0,535 \cdot 1800=963 \text{ (і і)};$$

- поточний радіус завитка

$$r=\frac{D}{2+b}=\frac{1800}{2+475}=1375 \text{ (і і)}.$$

Приклад 2.4. Спроекувати золовловлювач для попереднього очищення газів ТЕС, яка виробляє $D=10$ тис. кВт електроенергії за годину. Як паливо застосовується донецьке пісне вугілля. Температура газів $t=150^{\circ}\text{C}$, при вході в очисну установку газу знаходяться під розрідженням $\Delta P=10000$ Па, барометричний тиск $P_A=99300$ Па, густина золи $\rho_{\zeta}=3000$ кг/м³.

Розв'язування

1. Визначаємо об'ємні витрати очищеного газу, користуючись додатком К

$$Q_p=\frac{P \cdot Q_r}{3600}=\frac{10000 \cdot 4}{3600}=11,1 \text{ (і }^3/\text{с)}.$$

2. Знаходимо густину і динамічну в'язкість повітря при робочих умовах:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 \cdot P_p}{P_0 T_p} = \rho_0 \frac{T_0 (P_a - \Delta P')}{P_0 (T_0 + t)} =$$

$$= 1,293 \frac{273(99300 - 10000)}{(273 + 150) \cdot 101300} = 0,59 \text{ (кг/м}^3\text{)};$$

$$\mu = \mu_0 \frac{T_0 + C \left(\frac{T_p}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}}}{T_p + C \left(\frac{T_p}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}}} = \mu_0 \frac{T_0 + C \left(\frac{T_0 + t}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}}}{(T_0 + t) + C \left(\frac{T_0 + t}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}}} =$$

$$= 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 124}{(273 + 150) + 124} \cdot \left(\frac{273 + 150}{273}\right)^{\frac{2}{3}} = 24,3 \cdot 10^{-6} \text{ (Па} \cdot \text{с)},$$

де $T_0 = 273$ К, $P_0 = 101300$ Па – температура і тиск повітря при нормальних умовах;

T_p, P_p – температура і тиск повітря при робочих умовах;

ρ, μ – густина і динамічна в'язкість повітря при нормальних умовах (додаток Д);

\tilde{N} – константа (додаток Д).

3. Летка зола, яка утворюється при пиловидному спалюванні кам'яного вугілля, відноситься (табл. 1.3) до II групи (слабозлиплива).

Концентрація золи в очищуваних газах складає

$$C_i = \frac{q_i}{Q_a} = \frac{97}{4} = 26,25 \text{ (кг/м}^3\text{)},$$

де q_i – питомі викиди шкідливих речовин, г/(кВт·год) (додаток К);

Q_a – вихід газів, м³/(кВт·год.) (додаток К).

4. Проектуємо для очищення газів батарейний циклон з напрямними апаратами типу „розетка” (табл. 2.14) діаметром 250 мм (допускається запиленість до 75 г/м³) з лопатками нахиленими під кутом $\alpha = 25^\circ$.

5. Витрати газу через один напрямний елемент визначаємо за формулою

$$q = 0,785 v_{i\delta} \cdot D^2 = 0,785 \cdot 4,5 \cdot (0,25)^2 = 0,22 \text{ (м}^3\text{/с)},$$

де $v_{i\delta}$ – оптимальна швидкість газу в елементі, м/с (табл. 2.13)

6. Знаходимо необхідне число елементів

$$n = \frac{Q_p}{q} = \frac{11,1}{0,22} = 50,5 (\text{ø } \delta).$$

Проектуємо до встановлення батарейний циклон ЦБ-254 Р з $n=50$ елементами (табл. 2.13).

7. Дійсна швидкість газів у циклоні

$$v = \frac{4Q_p}{\pi n D^2} = \frac{4 \cdot 11,1}{3,14 \cdot 50 \cdot (0,25)^2} = 4,52 (\text{і } / \text{ñ}).$$

Відхилення від норми ($\pm 15\%$) складає

$$\frac{v - v_{\text{н}}}{v_{\text{н}}} = \frac{4,52 - 4,5}{4,5} \cdot 100 = 0,5\%.$$

8. Знаходимо аеродинамічний опір батарейного циклона

$$\Delta P = \xi \frac{\rho v^2}{2} = 90 \frac{0,59 \cdot (4,52)^2}{2} = 542 (\text{İ } \grave{\text{a}}),$$

де ξ – коефіцієнт гідравлічного опору (табл. 2.13).

9. Визначаємо значення медіанної тонкості очищення циклона, який проектується

$$d_{50} = d_{50}^t \sqrt{\left(\frac{D}{D_t}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{\pm}^t}{\rho_{\pm}}\right) \cdot \left(\frac{\mu_{\pm}}{\mu_{\pm}^t}\right) \cdot \left(\frac{v^t}{v}\right)} =$$

$$= 3,85 \sqrt{\left(\frac{250}{250}\right) \cdot \left(\frac{2200}{3000}\right) \cdot \left(\frac{24,3 \cdot 10^{-6}}{23,7 \cdot 10^{-6}}\right) \cdot \left(\frac{4,5}{4,52}\right)} = 3,33 (\text{î } \hat{\text{e}} \grave{\text{t}}),$$

де $d_{50}^t, \rho_{\pm}^t, \mu_{\pm}^t, v^t$ – параметри типового циклону діаметром $D_{\delta} = 250$ мм (табл. 2.16).

10. Знаходимо параметр x

$$x = \frac{\lg\left(\frac{d_{50}}{d_{50}^t}\right)}{\sqrt{\lg^2\sigma_{\dot{v}}^t + \lg^2\sigma_{\dot{v}}}} = \frac{\lg\frac{3,33}{3,85}}{\sqrt{0,46^2 + 0,334^2}} = -0,11,$$

де d_{50}^t – ступінь полідисперсності пилю для типового циклона (табл. 2.16);

d_{50} – ступінь полідисперсності дійсного пилю (табл. 2.11).

11. За додатком А знаходимо $F(x) = 0,46$.

Тоді ефективність очищення газів буде рівна

$$\eta = 50[1 + \varphi(x)] = 50[1 + 0,46] = 73,0\% .$$

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте принципи очищення промислових газів в сухих інерційних апаратах.
2. Наведіть класифікацію та опишіть принцип роботи пилоосаджувальних камер.
3. Опишіть суть знепилювання промислових газів у пилоосаджувачах інерційної дії.
4. Опишіть особливості очищення газів у жалюзійних пиловіддільниках.
5. Перерахуйте основні переваги циклонних пиловловлювачів.
6. Наведіть класифікацію та опишіть принцип роботи циклонів.
7. Охарактеризуйте особливості очищення газів в групових та батареїних циклонах.
8. Опишіть суть роботи вихрових пиловловлювачів.
9. Розкажіть про можливості застосування та порядок роботи динамічних пиловловлювачів.
10. Наведіть початкові дані, необхідні для технологічних розрахунків циклонів.
11. Опишіть послідовність проведення технологічних розрахунків циклонів.
12. Наведіть порядок вибору та розрахунку сухих інерційних пиловловлювачів.

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ДО 3 РОЗДІЛУ

- S – площа, м^2 ;
 Q – витрати газу, $\text{м}^3/\text{с}$;
 q – питоме газове навантаження;
 τ – час, с ;
 N_c – число секцій, шт.;
 n – число регенерацій протягом 1 год;
 $\tilde{N}_1, \tilde{N}_2, \tilde{N}_3, \tilde{N}_4, \tilde{N}_5$ – коефіцієнти для розрахунку питомого газового навантаження фільтрів;
 ΔP – гідравлічний опір фільтрів, Па ;
 ξ – коефіцієнт гідравлічного опору;
 v – швидкість газу, $\text{м}/\text{с}$;
 H – висота рукава, м ;
 D – діаметр рукава, м ;
 K_f – коефіцієнт, який характеризує опір фільтрувальної перегородки;
 μ – динамічна в'язкість, $\text{Па} \cdot \text{с}$;
 ρ_p, ρ_a – густина частинок, газу, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 d – діаметр частинок, мкм ;
 η_μ – коефіцієнт корисної дії передачі;
 η_a – коефіцієнт корисної дії вентилятора;
 P, θ – тиск і температура газів, відповідно Па , К ;
 \tilde{N}', \tilde{N}'' – концентрація шкідливих речовин, відповідно в забруднених і очищених газах, $\text{г}/\text{м}^3$, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Прийняті скорочення:

- ЗГ – забруднені гази;
ОГ – очищені гази;
УП – уловлений пил;
ПР – повітря на регенерацію;
ЗМ – зернистий матеріал.

3 ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ФІЛЬТРУВАННЯМ

Фільтрація – один із найдавніших і найширше використовуваних методів видалення частинок із запилених газових потоків. В сучасному вигляді фільтрація забезпечує вловлювання найрізноманітніших частинок розміром від видимого до білямолекулярного. Фільтрація здійснюється у фільтрі, розділеному пористою перегородкою на дві камери – запиленого і очищеного газу (рис. 3.1).

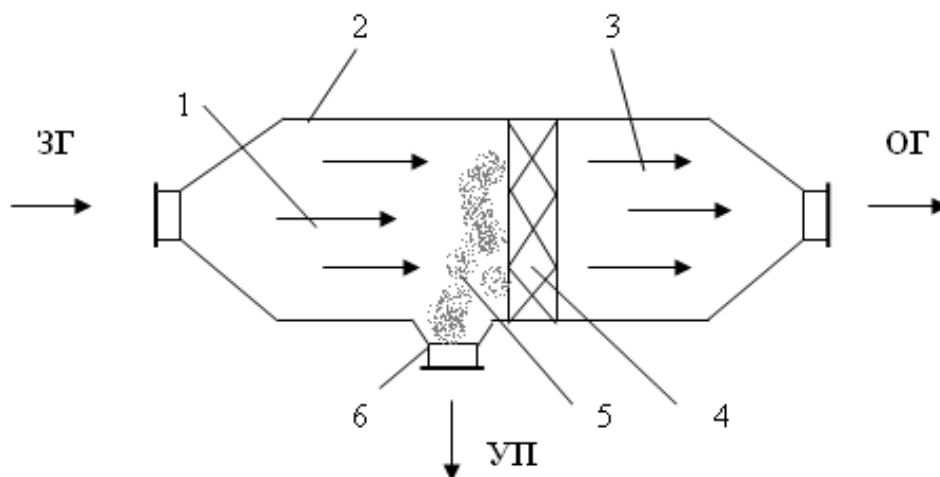


Рисунок 3.1 – Схема фільтрувального апарата:
1 – запилений газ; 2 – корпус; 3 – очищений газ; 4 – фільтрувальна перегородка; 5 – вловлюваний пил; 6 – пристрій для вивантаження пилу

Як пористі перегородки застосовуються волокнисті тканини та неткані матеріали, насипний шар і жорсткі пористі матеріали.

Ефективність осаджування частинок у початковий період роботи фільтра (коли тканина чи зернистий шар ще чисті) невелика через відносно великі пори у фільтрувальній перегородці. Осаджування відбувається за рахунок безпосереднього дотику частинок пилу до волокон (ниток) чи зерен фільтрувальної перегородки, дії сил інерції, дифузії та електростатичного притягання. В цей період на лобовій поверхні пористого шару утворюються острівки пилу, які у волокнистих фільтрах поступово змикаються в суцільний, але ще тонкий шар. В принципі такий шар стає непроникним для частинок, які знову набігають на пористу перегородку, й теоретично ефективність фільтра повинна бути рівною 100%. Однак абсолютна ефективність роботи у фільтрах не досягається з двох основних причин: через мікровібрації фільтрувального матеріалу та внаслідок утворення тріщин і пустот у пиловому шарі при регенерації. Ці

причини обумовлюють проникнення пилу в зону очищеного газу в режимі фільтрування.

В процесі роботи фільтра маса пилу на поверхні та в об'ємі пористої перегородки збільшується, і відповідно росте гідравлічний опір. В той момент, коли він досягне наперед заданого оптимального значення, вмикається система регенерації і пил скидається в бункер. При цьому гідравлічний опір фільтрувальної перегородки не знижується до рівня опору чистого матеріалу, що практично неможливо і недоцільно, тому що зразу після регенерації має місце підвищене проскакування пилу. В міру запылення опір знову зростає.

Постійна зміна гідравлічного опору – одна із особливостей апаратів фільтрувального типу.

Залежно від призначення і допустимого пилового навантаження сучасні фільтри умовно поділяють на повітряні та промислові. Повітряні фільтри призначені для знепылювання атмосферного повітря в системах припливної вентиляції, кондиціонування і повітряного опалення виробничих, службових і громадських будівель, подачі повітря на теплотехнічні потреби, повітряного охолодження газотурбінних установок, підстанцій агрегатів живлення електрофільтрів. Працюють повітряні фільтри при концентрації пилу менше 50 мг/м^3 та швидкості фільтрування до $2,5 \dots 3 \text{ м/с}$.

В даному посібнику розглядаються тільки промислові фільтри (зернисті, волокнисті, тканинні), які застосовуються для очищення промислових газів концентрацією дисперсної фази до 60 г/м^3 .

3.1 Тканинні фільтри

Тканинні (рукавні) фільтри призначені для очищення неагресивних, невибухонебезпечних і не схильних до злипання та утворення конденсату газопилових сумішей від твердих частинок при температурі до 300°C . Як фільтрувальний матеріал в них використовують різні тканини (бавовняні, шерстяні, нітронові, лавсанові тощо) високої міцності та підвищеної теплової і хімічної стійкості. Основні властивості деяких тканин для фільтрування наведені в табл. 3.1.

Тканинні фільтри розрізняють за:

- формою фільтрувального елемента (рукавні, карманні);
- наявністю опорних конструкцій (каркасні, рамні);
- місцем розташування вентилятора відносно фільтра (всмоктувальний, нагнітальний);
- наявністю та формою корпусу для розташування тканин (прямокутні, циліндричні, безкамерні);
- числом секцій (однокамерні, багатосекційні);
- видом застосовуваної тканини.

Головною конструктивною ознакою для рукавних фільтрів є улаштування регенерації, згідно з якою ці фільтри поділяються на такі типи [52]:

- 1 – з регенерацією механічним струшуванням;
- 2 – з регенерацією зворотною продувкою атмосферним повітрям чи очищеним газом;
- 3 – з регенерацією механічним струшуванням в поєднанні з улаштуванням для регенерації зворотною продувкою;
- 4 – з регенерацією стиснутим повітрям.

Таблиця 3.1 – Основні властивості фільтрувальних тканин

Тканина	Товщина, мм	Повітро-непроникність при $\Delta P=49\text{Па}$, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$	Термостійкість, °С		Хімічна стійкість в середовищі		
			при тривалій дії	при коротко-часній дії	кислота	луги	розчинники
Сукно №2	1,5	3	65-85	90-85	ДП	ДП	Х
Нітрон	1,6	7,5	120	150	Х-З	З	Х
Лавсан	1,4	4,0	130	160	Х	З-П	Х
Хлорин №5231	1,32	7,6	65-70	80-90	ДХ	ДХ	З-Х
Склотканина ТССНФ	0,22	2,7	240	315	Х	З-П	ДХ

Примітка. ДП – дуже погана; П – погана; З – задовільна; Х – хороша; ДХ – дуже хороша.

Основні параметри даних типів фільтрів наведені в табл. 3.2.

На рис. 3.2 показана схема рукавного фільтра з механізмом струшування і зворотною продувкою. Основний робочий елемент фільтра – рукав 9 – може бути зшитим або суцільнотканим. Рукави великої довжини армують металевими кільцями, гнучким чи жорстким каркасом і закріплюють на верхній решітці. Запилений газ з колектора 2 надходить у внутрішню порожнину рукава. Частилки забруднень осідають на внутрішній поверхні рукава, утворюючи пористий шар, який разом з тканиною бере участь в процесі фільтрування. Очищений газ виходить з фільтра через патрубок 4. При досягненні максимально допустимого перепаду тиску на фільтрі його відмикають від системи і проводять регенерацію струшуванням рукавів і зворотною продувкою стиснутим

повітрям. При очищенні тканини видаляється значна частина зовнішнього шару пилу, але всередині тканини (між волокнами) залишається достатня кількість пилу, що забезпечує високу ефективність очищення газів у фільтрі після його регенерації.

Таблиця 3.2 – Основні параметри рукавних і карманних фільтрів [52]

Найменування параметра		Норми для типів			
		1	2	3	4
1	Площа фільтрування, м ²	4-1000	4-25000	4-25000	4-20000
2	Розрідження у фільтрі, Па, не більше	3000	6000	50000	5000
3	Гідравлічний опір, Па, не більше	2000	3000	2500	2500
4	Тиск повітря /газу/ для регенерації, МПа, не більше	-	0,01	0,01	0,8
5	Концентрація пилу на вході фільтра, г/м ³ , не більше	50	30	50	50
6	Концентрація пилу за фільтром, мг/м ³ , не більше	100	100	100	50
7	Питоме газове навантаження на фільтрувальний матеріал, м ³ /м ² ·год, не більше	90	90	70	180
8	Енергетичні витрати на очищення 1000 м ³ газу, кВт·год, не більше	2,2	1,9	1,9	1,3
9	Питома матеріалоемність, розрахована за максимальним газовим навантаженням, кг/1000 м ³ /год	960-115	885-255	920-280	350-75

Одним з найбільш розповсюджених способів регенерації фільтрувального матеріалу в рукавних фільтрах, які випускаються за кордоном (Великобританія, Німеччина, США, Японія та Франція) і в нашій країні – імпульсна продувка. Характерною особливістю фільтрів з імпульсною продувкою є:

- використання жорстко-каркасних фільтрувальних елементів;
- рух запиленого потоку ззовні усередину фільтрувального елемента;

- регенерація шляхом короткочасного подання в кожний фільтрувальний елемент струменя стиснутого повітря.

Процес регенерації здійснюється без вимкнення апарата і продовжується 0,2...0,3 с. Витрати стиснутого повітря складають 1...2 м³ на 1000 м³ очищеного газу. Завдяки безперервності процесу фільтрування та інтенсивній регенерації рукавів досягається висока пропускна здатність апарата.

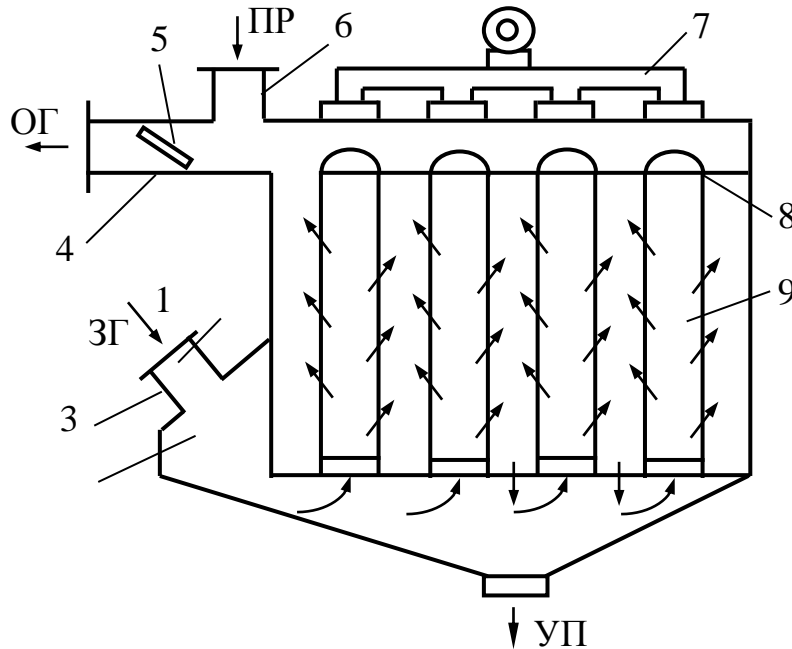


Рисунок 3.2 – Рукавний фільтр зі струшуванням і зворотною продувкою:

1 – корпус; 2 – колектор; 3 – газохід запылених газів; 4 – патрубок очищених газів; 5 – клапан; 6 – продувний колектор; 7 – струшувальний механізм; 8 – верхня решітка; 9 – рукав

Найбільш розповсюджені рукавні фільтри загальнопромислового призначення типу ФР, ФРО, ФРКІ, ФРНДІ, які серійно випускаються ВО „Газоочистка”. Умовне позначення типорозміру фільтра: Ф – фільтр; Р – рукавний; К – каркасний; О – зі зворотною продувкою; І – з імпульсною продувкою; ДІ – з двобічною імпульсною продувкою; цифри після буквених позначень – поверхня фільтрування.

Основні параметри цих фільтрів наведені в табл. 3.3 і 3.4.

3.2 Волокнисті фільтри

Волокнисті фільтри – це апарати, в яких фільтрувальним елементом є поверхні шарів волокнистого матеріалу (картону, паперу, полімерних смол тощо) різної товщини. Це фільтри об’ємної дії, розраховані на уловлювання і накопичення силових частинок переважно всією глибиною шару. Суцільний шар пилу утворюється тільки на

поверхні найщільніших матеріалів звичайно при фільтруванні відносно великих частинок і в кінці строку служби. Їх умовно поділяють на тонковолокнисті, глибокі та грубоволокнисті.

Таблиця 3.3 – Фільтри зі зворотною посекційною продувкою [41]

Технічна характеристика	Марка фільтра						
	ФР-250	ФР-2800	ФР-5000	ФР-10000	ФРО-2400	ФРО-6000	ФРО-20000
1	2	3	4	5	6	7	8
Фільтрувальна поверхня, м ²	250-280	2800	5000	10000	2400	6000	20000
Число секцій	4	6	8	8	12	12	10
Число рукавів	288	2304	4032	Висотою: 3,7м-1920 4,7м-3840	504	648	2160
Діаметр рукава, мм	127/135	127	127	135	200	300	300
Висота рукава, м	2,3	3,1	3,1	3,7/4,7	8	10	10
Допустимий надлишковий тиск в апараті, КПа	2,5	2,5	2,5	3,5	-	-	-
Допустиме розрідження в апараті, КПа	-	-	-	-	6	6	6
Тиск стиснутого повітря при роботі пневмоциліндрів, МПа	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	0,5-0,6	0,5-0,6	0,5-0,6
Витрати стиснутого повітря на роботу пневмоциліндра, м ³ /год	-	-	-	-	4-8	4-8	20-40
Витрати стиснутого повітря на 1 хід поршня, л	0,55	0,55	0,55	0,55	-	-	-
Маса, т	14,5	111,0	128,0	231,0	75,6	162,8	540
Габаритні розміри, м:							

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
довжина	7,4	23	28,8	31,6	9,6	18,6	30,4
ширина	3,9	7,3	7	10,7	6,8	9,8	18,8
висота	7,9	15	14,5	16,6	16,75	18,4	23,5

Таблиця 3.4 – Фільтри з імпульсною продувкою [41]

Технічна характеристика	ФРКІ -30	ФРКІ -90	ФРКІ -360	ФРКДІ -550	ФРКДІ -1100	ФРКДІ -15-130	ФРКІ -60
Фільтрувальна поверхня, м ²	30	90	360	550	1100	15	60
Число рукавів	36	108	288	216	432	19	72
Діаметр рукава, мм	130	130	130	130	130	130	135
Висота рукава, м	2	2	3	6	6	2	2
Число секцій	1	3	8	6	12	1	1
Число електромагнітів	3	9	24	36	72	8	3
Число мембранних головок клапанів	6	18	48	72	144	8	6
Розрахунковий надлишковий тиск, КПа	5	5	5	5	5	60	5
Маса, т	1,28	2,99	8,86	18,4	31,3	1,05	1,28
Габаритні розміри, м:							
довжина	1,46	4,14	5,85	4,94	8,95	1,28	1,46
ширина	2,06	2,06	4,37	4,34	4,34	1,88	2,06
висота	3,6	3,6	4,88	9,18	9,18	4,98	3,6

Волокнисті фільтри тонкого очищення використовують в атомній енергетиці, радіоелектроніці, точному приладобудуванні, промисловій мікробіології, в хіміко-фармацевтичній та інших галузях. Фільтри дозволяють очищати великі об'єми газів від твердих частинок всіх розмірів, включаючи субмікронні. Їх широко застосовують для очищення радіоактивних аерозолів. Для очищення на 99% (для частинок 0,05...0,5 мкм) застосо-

вують матеріали у вигляді тонких листів чи об'ємних шарів із тонких або ультратонких волокон (діаметр менше 2 мкм). Швидкість фільтрування в них складає 0,01...0,15 м/с, опір чистих фільтрів не перевищує 200...300 Па, а забитих пилом фільтрів 700...1500 Па. Вловлювання частинок у фільтрах тонкого очищення відбувається за рахунок броунівської дифузії та ефекту дотику.

Оптимальна конструкція фільтрів тонкого очищення повинна відповідати таким вимогам:

- найбільшій поверхні фільтрації при найменших габаритах;
- мінімальному опору;
- можливості більш зручного і швидкого улаштування;
- надійної герметичності групового складання окремих фільтрів.

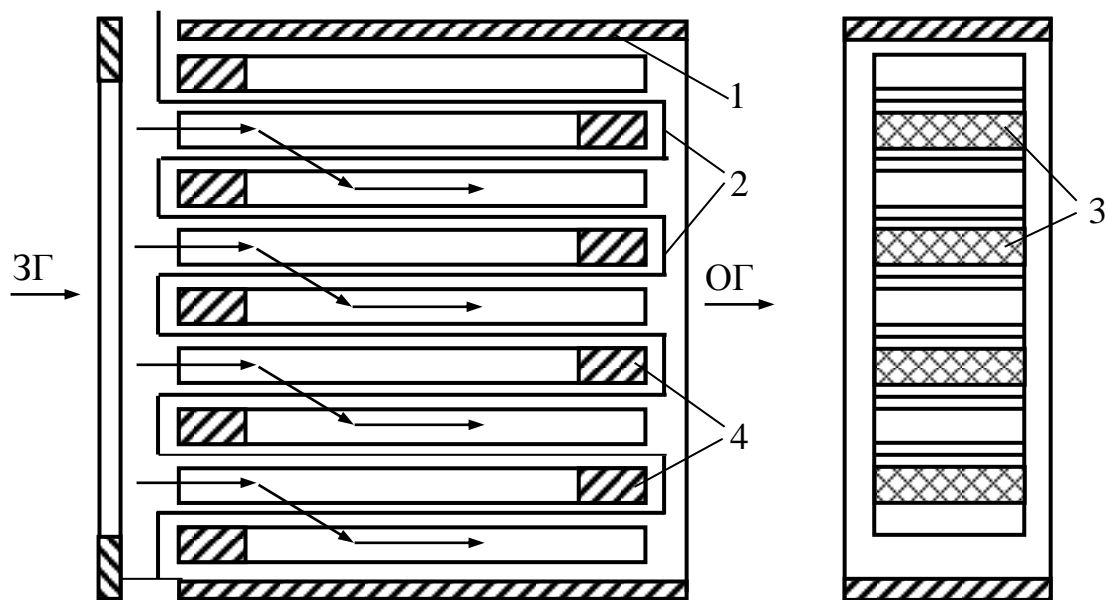


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема волокнистого фільтра:
 1 – бокова стінка; 2 – фільтрувальний матеріал; 3 – роздільник;
 4 – П-подібна рамка

Ці вимоги найбільше задовольняють розповсюджені в наш час фільтри рамної конструкції (рис. 3.3). Фільтрувальний матеріал у вигляді стрічки вкладається між П-подібними рамками, які чергуються при складанні пакета відкритими і закритими сторонами в протилежних напрямках. Між сусідніми шарами матеріалу встановлюються гофровані роздільники, щоб не допустити їх приєднання один до одного. Рамки, роздільники, бокові стінки корпусу можуть бути з різного матеріалу: фанери, вініласту, алюмінію, нержавіючої сталі тощо.

Забруднені гази надходять в одну з відкритих сторін фільтра, проходять через матеріал і виходять з протилежної сторони.

Глибокі фільтри складаються з глибокого шару грубих волокон і більш тонкого замикального шару тонких волокон. Багатошарові фільтри застосовуються для очищення вентиляційного повітря і технологічного газу від радіоактивних частинок. Вони розраховані на роботу протягом 10...20 років, після чого їх захоронюють з цементуванням.

Грубоволокнисті фільтри (грубого або попереднього очищення) складаються з суміші волокон діаметром від 1 до 20 мкм, причому до 50% волокон повинні мати розміри менше 4 мкм. При швидкості фільтрування 0,05...1 м/с матеріал повинен майже повністю вловлювати частинки крупніші 1 мкм. Такі фільтри значно дешевші як фільтри тонкого очищення і їх можна легко міняти або регенерувати.

У фільтрах малої продуктивності в одному корпусі розміщують фільтри грубого очищення із набивного шару лавсанових волокон товщиною 100 мм і фільтри тонкого очищення з матеріалу типу ФП (фільтр Петрянова) – із полімерних смол. Такі фільтри називаються дво-ступеневими або комбінованими.

3.3 Зернисті фільтри

При наявності вологих газів або злипливого пилу застосування тканинних фільтрів для очищення газів недоцільне через можливе заливання рукавів. Якщо ж пил мав великий електричний опір, то неефективними виявляються і електрофільтри.

В подібних ситуаціях як альтернативний варіант апаратного оформлення процесу пилогазоочищення можна вибрати зернисті фільтри. Оптимальні області використання цих пиловловлювачів – високотемпературне очищення газів без попереднього охолодження і сухе комплексне очищення від пилу та газоподібних домішок з насипним шаром адсорбента чи каталізатора.

Переваги таких фільтрів полягають в невисокій вартості та доступності матеріалів, можливості роботи з високотемпературними і агресивними середовищами при значних механічних навантаженнях і перепадах тиску. Незважаючи на це, зернисті фільтри застосовують порівняно рідко через конструктивні недоліки апарата, періодичності дії, громіздкості, невеликої продуктивності та недосконалості деяких вузлів, наприклад, пристроїв регенерації фільтрувального шару тощо.

Зернисті фільтри поділяються на дві групи: насипні та жорсткі пористі. До першої групи відносяться фільтри, в яких елементи, які складають фільтрувальний шар, не мають жорсткого зв'язку один з одним. Це фільтри з нерухомим насипним зернистим шаром, з рухомим шаром, а також з псевдозрідженим шаром. До другої групи відносяться фільтри, в яких зерна зв'язані між собою і утворюють агломерацію, одержану спіканням, склеюванням чи пресуванням [37-42].

У насипних фільтрах насадкою можуть служити різні матеріали: пісок, гравій, шлак, щебінь, кокс, дерев'яна тирса, дрібняк, гранули гуми і пластмаси, стандартні насадки (кільця Рашіга, Берля тощо).

Зернистий гравійний фільтр ЗФ з нерухомим фільтрувальним шаром (рис. 3.4) складається з трьох секцій, в кожній з яких розташований фільтрувальний шар висотою 100 мм. В першому за рухом газу шарі розмір зерен складає 5..10 мм, в другому – 3...5 мм і в третьому – 2,5...3 мм. Для регенерації шару застосовують вібратор 6, за допомогою якого секція здійснює коливальний рух. Одночасно робочий простір секції відключається від каналу очищеного газу і з'єднується патрубком 1 з продувним вентилятором. Під дією надлишкового тиску повітря, яке рухається в зворотному напрямку через насипний шар, захоплює з собою пил.

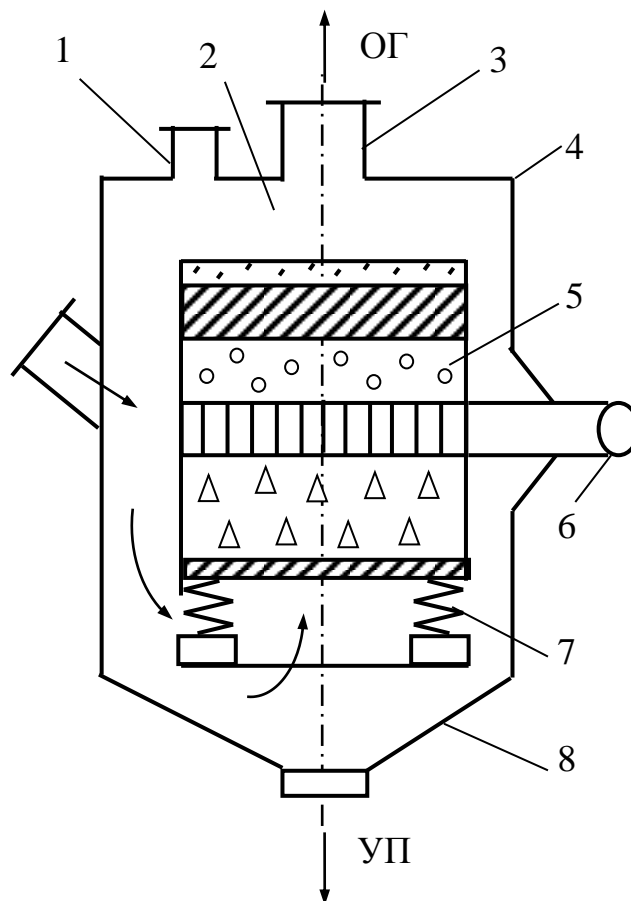


Рисунок 3.4 – Схема зернистого фільтра з нерухомим фільтрувальним шаром:

1 – продувний патрубок; 2 – камера очищеного газу; 3 – вихідний патрубок; 4 – корпус; 5 – насипні фільтрувальні шари; 6 – вібратор; 7 – пружини; 8 – бункер для пилу

У деяких конструкціях фільтрів продувка вторинним повітрям супроводжується замість вібрації шару ворушенням фільтрувальних елементів. Подібний спосіб регенерації зернистого шару реалізований в гравійному фільтрі-циклоні ФЦНГ.

В табл. 3.5 наведені деякі технічні характеристики фільтрів з нерухомим зернистим шаром. Концентрація пилу на виході з апаратів 20...100 мг/м³, ступінь очищення менший, ніж в рукавних фільтрах (не більше 92%), питоме газове навантаження на фільтрувальну поверхню більше порівняно з рукавними фільтрами.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики насипних зернистих фільтрів [41]

Тип апарата	Фільтрувальна поверхня, м ²	Розмір гранул, мм	Витрати газу, м ³ /(м ² ·хв)	Гідрравлічний опір, Па	Максимальна температура очищеного газу, °С	Максимальний вміст пилу на вході в апарат, г/м ³
Зі зворотним продуванням і вібрацією						
3Ф-4М	2,0...4,0	3...10	20	600... 1500	140	20
3Ф-5М	4,0...8,0					
3Ф-6М	7,8...31,2					
3Ф-8М	8,0...120,0					
Зі зворотним продуванням і ворушенням						
ФГНЦ-30	28,8	2...4	15...20	1600... 2000	400	30
ФГНЦ-120	124,0			1600... 2200		

В зернистому фільтрі з рухомими фільтрувальними шарами (рис. 3.5) матеріал переміщується між сітками або жалюзійними решітками. Регенерацію матеріалу від пилу проводять в окремому апараті шляхом просіювання або промивання.

В зернистих жорстких фільтрах зерна міцно зв'язані одне з одним внаслідок спікання, пресування або склеювання і утворюють міцну нерухому систему. Залежно від матеріалу зерен фільтри бувають метало-керамічні (металеві спресовані порошки з бронзи, нікелю, вольфраму, титану, ніхрому, алюмінію тощо), і керамічні (спечені зерна шамоту, кварцового піску, азбесту тощо).

Зернисті жорсткі керамічні та металокерамічні фільтри вловлюють навіть субмікронні частинки і практично повністю затримують частинки

більші 1 мкм. Залишкова концентрація звичайно складає при цьому менше 1 кг/м³. Ефективність їх складає до 99,9%. Вони використовуються для виділення з гарячих потоків цінних пиловидних продуктів і в енергетичних ядерних реакторах для очищення діоксиду вуглецю. Більш широке використання цих фільтрів стримується їх високою вартістю, значним гідравлічним опором (до 6000 Па) і обмеженим терміном експлуатації [42].

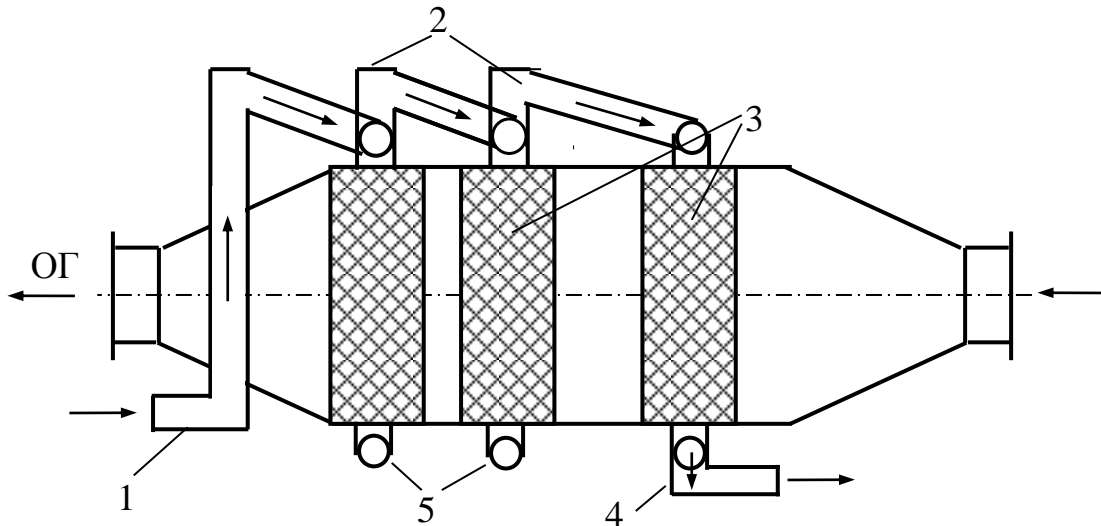


Рисунок 3.5 – Конструктивна схема насипного фільтра з рухомими фільтрувальними шарами:

- 1 – короб для подачі свіжого зернистого матеріалу; 2 – живильники;
3 – фільтрувальні шари; 4 – короб для виведення зернистого матеріалу;
5 – затвори

Для вловлювання твердих аерозолів при високих температурах широко використовуються фільтрувальні елементи з металевих сіток. Технічна характеристика фільтрів типу ФРОС (фільтр рукавний зі зворотною продувкою і металевою сіткою) наведена в табл. 3.6.

3.4 Технологічні розрахунки фільтрів

Технологічні розрахунки фільтрувальних апаратів зводяться до визначення площі фільтрувальної перегородки, гідравлічного опору фільтрувальної перегородки і апарата в цілому, частоти і тривалості циклів регенерації фільтрувальних елементів.

Фільтрувальна поверхня апарата або групи апаратів S , м², знаходиться за формулою

$$S = \frac{Q + Q_n}{60g} + S_p, \quad (3.1)$$

де Q – об’єм газу, який очищається, $\text{м}^3/\text{год}$;
 Q_n – об’єм газу чи повітря, що витрачається на зворотне продування, $\text{м}^3/\text{год}$;
 g – питоме газове навантаження при фільтруванні, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$;
 S_p – фільтрувальна поверхня, яка відключається на регенерацію протягом однієї години, м^2 ;

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики фільтрів типу ФРОС

Показник	Марка фільтра				
	ФРОС-9,0 - 500	ФРОС-13,5 - 500	ФРОС-20 - 500	ФРОС-31-500	ФРОС-66 - 500
Фільтрувальна поверхня, м^2	9	13,5	20	31	66
Число секцій	4	4	6	6	8
Фільтрувальні елементи:					
число	16	16	36	36	76
висота, мм	2000	3000	2000	3000	3000
діаметр, мм	100	100	1000	100	100
Питоме газове навантаження, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$	0,4...1	0,4...1	0,4...1	0,4.. .1	0,4...1
Гідравлічний опір, кПа	до 3,5	до 3,5	до 3,5	до 3,5	до 3,5
Допустима запиленість газу на вході, $\text{г}/\text{м}^3$	до 15	до 15	до 15	до 15	до 15
Допустиме розрідження всередині фільтра, кПа	до 5	до 5	до 5	до 5	до 5
Маса, кг	1000	1200	1960	2250	3680
Габаритні розміри, м:					
висота	4,5	5,5	5,2	6,2	6,9
ширина	2,17	2,17	2,76	2,76	3,365
діаметр	1,0	1,0	1,6	1,6	2,2

$$S_p = \frac{N_c S_c \tau'_p n_p}{3600}, \quad (3.2)$$

де N_c – число секцій;

S_c – фільтрувальна поверхня секцій, м²;

τ'_p – час відключення секції на регенерацію, с;

n_p – число регенерацій протягом години.

Для фільтрів з імпульсною продувкою в зв'язку з короткочасністю процесу регенерації поверхнею фільтра, яка виключається на час регенерації, і об'ємом повітря, яке витрачається на зворотну продувку, можна знехтувати.

Таблиця 3.7 – Значення нормативного питомого газового навантаження

Значення g_n , м ³ /(м ² ·хв)				
3,5	2,6	2	1,7	1,2
Комбі-корм	Азбест	Глинозем	Кокс	Активоване вугілля
Мука	Волокнисті целюлозні матеріали	Цемент	Летка зола	Технічний вуглець
Зерно	Пил при вибиванні	Керамічні барвники	Металопо-рошки	Міючі речовини
Макухо-ва суміш	Пил відливків з форм, гіпс, вапно	Вугілля	Окисли металів	Порошкове молоко
Пил шкіри	Пил від гашене, пил від поліровки, сіль, пісок	Плавіковий шпат	Пластмаси	Перегони кольорових і чорних металів
Тирса	Пил піскоструминних апаратів	Гума	Барвники	
Тютюн	Тальк	Каолін	Силікати	
Картонний пил	Кальцинована сода	Вапняк	Крохмаль	
Полівінілхлорид		Цукор	Смоли сухі	
		Пил гірських порід	Хімікати з нафтосировини	

Питоме газове навантаження q , м³/(м² · хв) в рукавних фільтрах знаходиться за такою формулою:

$$g = g_n \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5, \quad (3.3)$$

де g_n – нормативне питоме навантаження, залежне від виду пилу та його схильність до агломерації (табл. 3.7);

C_1 – коефіцієнт, який характеризує особливість регенерації фільтрувальних елементів (табл. 3.8);

C_2 – коефіцієнт, який враховує вплив концентрації пилу на питоме газове навантаження (рис. 3.6);

C_3 – коефіцієнт, який враховує вплив дисперсного складу пилу в газі (табл. 3.9);

C_4 – коефіцієнт, який враховує вплив температури газу (табл. 3.10);

C_5 – коефіцієнт, який враховує вимоги до якості очищення (при концентрації пилу в очищених газах 30 мг/м^3 $C_5 = 1$, зі зменшенням необхідної концентрації C_5 зменшується і при 10 мг/м^3 $C_5 = 0,95$).

Таблиця 3.8 – Значення коефіцієнта C_1 , який враховує особливості регенерації фільтрувальних елементів

Вид фільтра	Коефіцієнт C_1
З імпульсним продуванням стиснутим повітрям з рукавами з тканини	1
З регенерацією шляхом зворотного продування і одноразовим струшуванням або коливанням рукавів	0,70...0,85*
З регенерацією шляхом зворотного продування	0,55...0,70**

* – менше значення приймається для фільтрів з рукавами з щільної тканини.

** – менше значення приймається для фільтрів з рукавами зі склотканини.

При виборі рукавних фільтрів важливим є оцінювання очікуваного гідравлічного опору, який визначає енергетичні затрати на фільтрування. Гідравлічний опір рукавних фільтрів ΔP , Па, складається з опору корпусу апарата ΔP_e і опору фільтрувальної перегородки ΔP_f :

$$\Delta P = \Delta P_e + \Delta P_f . \quad (3.4)$$

Гідравлічний опір корпусу апарата визначається величиною місцевих опорів

$$\xi = \frac{\Delta P_k \cdot 2}{v_{до}^2 \cdot \rho} \approx 1,5 \dots 2,0 , \quad (3.5)$$

де $v_{\text{до}}$ – швидкість газового потоку у вхідному патрубку, м/с

$$v_{\text{до}} = 4v \cdot \frac{H}{D} \quad (3.6)$$

Гідравлічний опір фільтрувальної перегородки $\Delta P_{\text{і}}$ залежить від маси і властивостей пилу, який на неї осів і утворюється двома складовими: постійною $\Delta P'$ і змінною $\Delta P''$

$$\Delta P_{\text{і}} = \Delta P' + \Delta P'' \quad (3.7)$$

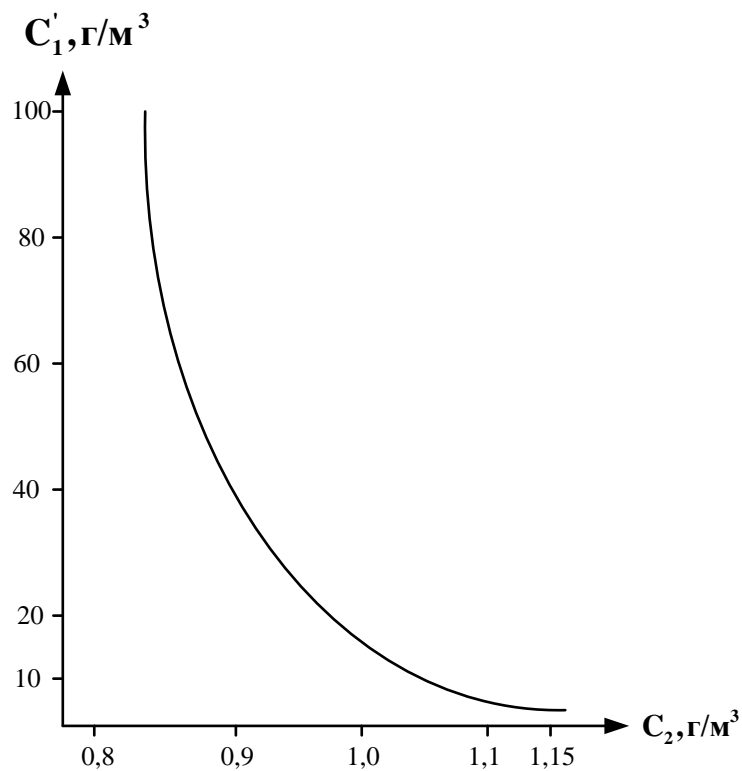


Рисунок 3.6 – Залежність коефіцієнта \tilde{N}_2 від концентрації пилу

Таблиця 3.9 – Значення коефіцієнта \tilde{N}_3 , який враховує вплив дисперсного складу пилу

Медіанний розмір частинок пилу, мкм	\tilde{N}_3
Більше 100	1,2...1,4
50 – 100	1,1
10 – 50	1
3 – 10	0,9
Менше 3	0,7...0,9

Таблиця 3.10 – Значення коефіцієнта \tilde{N}_4 , який враховує вплив температури, t°С

°С	20	40	60	80	100	120	140	160
C ₄	1	0,9	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,70

Постійна складова гідравлічного опору

$$\Delta P = \hat{E}_i \cdot \mu \cdot v_\delta \cdot n', \quad (3.8)$$

де v_δ – швидкість фільтрування, м/с,

$$v_\delta = q/60;$$

n' – показник ступеня, залежний від течії потоку (для розрахунків при ламінарному режимі приймається $n' = 1$; при турбулентній течії $n' > 1$);

K_i – коефіцієнт, який характеризує опір фільтрувальної перегородки з залишеним на ній шаром пилу, м⁻¹ (табл. 3.11).

Змінна складова гідравлічного опору

$$\Delta P'' = \frac{\mu \cdot \tau \cdot c' \cdot V_\delta^2 \cdot \hat{E}_{i\tilde{N}}}{d_{50}^2 \cdot \beta_i}, \quad (3.9)$$

де $K_{i\tilde{N}}$ – коефіцієнт опору шару пилу;

\tilde{n}' – концентрація частинок в потоці, кг/м³.

Величини $K_{i\tilde{N}}$, ρ_i , d_{50} характеризують властивості пилу, тому їх об'єднують одним параметром опору шару пилу K_1 (табл. 3.12):

$$K_1 = \frac{\hat{E}_{i\tilde{N}}}{d_{50}^2 \cdot \rho_i}. \quad (3.10)$$

Тоді для розрахунку $\Delta P''$, Па, зручніше використовувати формулу

$$\Delta P'' = K_1 \cdot \mu \cdot \tau \cdot c' \cdot v_\delta^2. \quad (3.11)$$

Таблиця 3.11 – Значення коефіцієнта \hat{E}_i , який характеризує опір фільтрувальної перегородки

Тип фільтрувальної тканини	Вид пилу	Медіанний діаметр пилу, мкм	Коефіцієнт \hat{E}_i , м ⁻¹
Лавсан арт.136 і 21	цементний, кварцовий	10...20	(1100...1500)10 ⁶
Те саме	перегони металів	2,5...3,0	(2300...2400)10 ⁶
Лавсан арт.86013 Склотканина	Те саме	2,5...3,0	(2300...2400)10 ⁶ x x(1,2...1,3)
Лавсан арт.86013	-//-/-	0,6	(13000...15000)10 ⁶

Таблиця 3.12 – Параметр опору шару пилу \hat{E}_1

Вид пилу	Медіанний діаметр пилу, мкм	Параметр \hat{E}_1 , м/кг
Цементний, кварцовий	12 ... 20	(6,5...16)·10 ⁹
Перегони металів	3	80·10 ⁹
Те саме	0,7	330·10 ⁹

Користуючись формулою (3.11) і, змінюючи змінну величину гідравлічного опору фільтрувальної перегородки, можна визначити тривалість фільтрувального циклу τ , с:

$$\tau = \frac{\Delta P''}{\mu \cdot c' \cdot \hat{E}_1 \cdot V_0^2} \cdot \quad (3.12)$$

Для дрібного пилу змінну величину гідравлічного опору фільтрувальної перегородки приймають в межах 600...800 Па, для великого пилу з медіанним діаметром частинок більше 20 мкм – 250... 350 Па.

Тривалість фільтрувального циклу τ , с, будь-якої секції (рукава) повинна бути завжди більшою тривалості регенерацій всіх інших секцій (рукавів) апарата

$$\tau \geq \tau_0 (n_p - 1) + (150 \dots 200). \quad (3.13)$$

Потужність електродвигуна вентилятора, необхідного для транспортування газів для очищення через фільтр, підраховується за формулою

$$N_{\text{а}} = \frac{K' Q_p n \Delta P}{3600 \cdot 1000 \eta_{\mu} \eta_{\text{а}}} , \quad (3.14)$$

де K' – коефіцієнт запасу потужності електродвигуна приймається 1,1 ... 1,5;

ΔP – гідравлічний опір фільтра, Па;

η_{μ} – к. к. д. передачі (для клиноремінної передачі приймається 0,92 – 0,95);

$\eta_{\text{а}}$ – к. к. д. вентилятора приймається 0,65...0,8.

Витрати електроенергії підраховуються без врахування коефіцієнта K' .

Приклад 3.1. Спроекувати пилоочисну установку для очищення повітря, яке надходить від $N = 5$ полірувальних верстатів, встановлених на дільниці гальванічного покриття деталей. Температура очищуваного повітря $t = 20^{\circ}\text{C}$, атмосферний тиск $P_{\text{а}} = 99000$ Па. Вміст пилу в очищеному повітрі не повинен перевищувати 10 мг/м³, к. к. д. вентилятора 0,75; передача до вентилятора – клиноподібний пас.

Розв'язування

1. При поліруванні (додаток Д) виділяється пил полірувальної пасти і текстильний пил з такими параметрами: медіанний діаметр частинок $d_{50} = (25...100)$ мкм; концентрація пилу в повітрі $\tilde{N}' = (0,1...0,3)$ г/м³; густина частинок $\rho_{\pm} = (1500 \div 1800)$ кг/м³; об'єм аспіраційного повітря $Q' = (0,7...2,5)$ тис. м³/год на 1 верстак.

Для розрахунку приймаємо:

$d_{50} = 60$ мкм; $\tilde{N}' = 0,2$ г/м³; $\rho_{\pm} = 1700$ кг/м³; $Q' = 2000$ м³/год на 1 верстак.

Тоді загальний об'єм аспіраційного повітря буде складати

$$Q = Q' \cdot N = 2000 \cdot 5 = 10000 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

2. Проектуємо встановлення рукавного фільтра з імпульсною регенерацією. Питоме газове навантаження буде рівне:

$$q = q_f \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 = 2,6 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,95 = 3,$$

де q_i – нормативне питоме навантаження, яке залежить від виду пилю (табл. 3.7);

C_1 – коефіцієнт, який враховує особливості регенерації (табл. 3.8);

C_2 – коефіцієнт, який враховує вплив концентрації пилю на питоме газове навантаження (рис. 3.6);

C_3 – коефіцієнт, який враховує вплив дисперсного складу пилю (табл. 3.9);

C_4 – коефіцієнт, який враховує вплив температури (табл. 3.10);

C_5 – коефіцієнт, який враховує вимоги до якості очищення при $C''=10\text{ мг/м}^3$ $C_5 = 0,95$.

3. Знаходимо фільтрувальну поверхню апарата

$$S = \frac{Q}{q} = \frac{10000}{60 \cdot 3} = 55,6 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Приймаємо для наведених умов фільтр ФРКІ-60 (табл. 3.4) з лавсановою перегородкою. Розрахунковий надлишковий тиск $P_\delta = 5000$ Па.

4. Знаходимо густину ρ і динамічну в'язкість μ повітря при робочих умовах, користуючись формулами (1.11) і (1.13) і додатком Д:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 P}{P_0 T} = \rho_0 \frac{T_0 (P_0 + P_p)}{P_0 (T_0 + t)} = 1,293 \frac{273(97400 + 5000)}{101300(273 + 20)} = 0,957 \text{ (кг/м}^3\text{)};$$

$$\mu = \mu_0 \frac{T_0 + C}{T + C} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2} = \mu_0 \frac{T_0 + C}{(T_0 + t) + C} \left(\frac{T_0 + t}{T_0} \right)^{3/2} =$$

$$= 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 124}{(273 + 20) + 124} \left(\frac{273 + 20}{273} \right)^{3/2} = 18,3 \cdot 10^{-6} \text{ (Па} \cdot \text{с)}.$$

5. Визначаємо швидкість фільтрування v_δ , м/с, і швидкість повітря у входному патрубку $v_{\hat{\alpha}\delta}$, м/с:

$$v_\delta = q/60 = 3/60 = 0,05,$$

$$v_{\text{ао}} = 4 \cdot v_{\text{о}} \cdot \frac{H}{D} = 4 \cdot 0,05 \frac{2,0}{0,135} = 2,96,$$

де H, D – висота і діаметр рукава, м (табл. 3.4).

6. Гідравлічний опір корпусу апарата знаходимо із співвідношення:

$$\xi = \frac{\Delta P_k \cdot 2}{v_{\text{ао}}^2 \cdot \rho} \approx 1,5 \dots 2,0 .$$

Приймаємо коефіцієнт гідравлічного опору корпусу $\xi = 2,0$.

$$\text{Тоді } \Delta P_k = \frac{\xi \cdot v_{\text{ао}}^2 \cdot \rho}{2} = \frac{2 \cdot 2,96^2 \cdot 0,957}{2} = 8,4 \text{ (І à)}.$$

7. Знаходимо гідравлічний опір перегородки користуючись формулами (3.8) і (3.11), прийнявши тривалість циклу фільтрування $\tau = 900$ с:

$$\Delta P_i = \hat{E}_i \cdot \mu \cdot v_{\text{о}} \cdot \hat{E}_1 \cdot \mu \cdot \tau \cdot \tilde{n}' \cdot v_{\text{о}}^2 = 1500 \cdot 10^6 \cdot 18,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,05 +$$

$$+ 16 \cdot 10^9 \cdot 18,3 \cdot 10^{-6} \cdot 900 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot (0,05)^2 = 1372,5 + 132 = 1504,3 \text{ (І à)}.$$

де K_i – коефіцієнт, який характеризує опір фільтрувальної перегородки (табл. 3.11);

K_1 – параметр опору шару пилу (табл. 3.12).

8. Гідравлічний опір фільтра буде рівний

$$\Delta P = \Delta P_{\hat{E}} + \Delta P_i = 8,4 + 1504,3 = 1512,7 \text{ (І à)},$$

тобто не виходить за межі допустимого $\Delta P_{\text{аіі}} = 2500$ (табл. 3.2).

9. Потужність електродвигуна вентилятора знаходимо за формулою

$$N = \frac{K' \cdot Q \cdot \Delta P}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{\mu} \eta_{\text{а}}} = \frac{1,1 \cdot 10000 \cdot 1512,7}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,95 \cdot 0,72} = 6,75 \text{ (кВт)},$$

де K' – коефіцієнт запасу потужності електродвигуна;

η_{μ} – к. к. д. клиноремінної передачі;

$\eta_{\text{а}}$ – к. к. д. вентилятора.

Приклад 3.2. Вибрати фільтр зі зворотною продувкою. Визначити фільтрувальну площу, гідравлічний опір і тривалість циклу фільтрування для очищення газу від цементного пилу.

Вхідні дані: витрати очищуваних газів $Q = 300000 \text{ м}^3/\text{год}$, температура $t = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, густина пилу $\rho_i = 2,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, концентрація пилу в очищуваних газах 30 г/м^3 , медіанний діаметр частинок пилу $d_{50} = 20 \text{ мкм}$; час відключення секції на регенерацію $\tau' = 40 \text{ с}$. Вимоги до очищеного газу: вміст пилу не повинен перевищувати 30 мг/м^3 .

Розв'язування

1. Визначаємо витрати газу при робочих умовах:

$$Q_p = \frac{Q \cdot T_p}{T_0} = \frac{300000 \cdot (273+120)}{3600 \cdot 273} = 120 \text{ (і}^3/\text{ñ)}.$$

2. Користуючись формулою (1.13) і додатком Д знаходимо динамічну в'язкість газу при робочих умовах:

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_0 \frac{T_0 + C}{T + C} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2} = \\ &= 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273+124}{(273+120)+124} \left(\frac{273+120}{273} \right)^{3/2} = 22,85 \cdot 10^{-6} \text{ (і}^2 \cdot \text{ñ)}. \end{aligned}$$

3. Знаходимо питоме навантаження користуючись формулою (3.3):

$$q = q_i \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \text{ (і}^3/\text{і}^2 \cdot \text{ñ)}).$$

За табл. 3.7 приймаємо $q_i = 2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$. Для фільтра зі зворотною продувкою: $\tilde{N}_1 = 0,6$ (табл. 3.8); $\tilde{N}_2 = 0,93$ (графік рис. 3.6); $\tilde{N}_3 = 1$ (табл. 3.9); $\tilde{N}_4 = 0,7$ (табл. 3.10); $\tilde{N}_5 = 1$, враховуючи вимоги до очищеного газу.

Підставивши ці значення у формулу, одержимо

$$q = 2 \cdot 0,6 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,78 \text{ (і}^3/\text{і}^2 \cdot \text{ñ)}).$$

4. Знаходимо швидкість фільтрування

$$V_0 = q/60 = 0,78/60 = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ (і /ñ)}.$$

5. Знаходимо гідравлічний опір фільтрувальної перегородки, користуючись формулами (3.8) і (3.11), оцінивши попередньо тривалість циклу фільтрування $\tau = 900$ с:

$$\Delta P_{\text{f}} = \hat{E}_{\text{f}} \cdot \mu \cdot v_0 + \hat{E}_{\text{f}} \cdot \mu \cdot \tau \cdot \tilde{n}' \cdot v_0^2.$$

Приймаємо: $\hat{E}_{\text{f}} = 1500 \cdot 10^6$ (табл. 3.11);

$\hat{E}_{\text{f}} = 16 \cdot 10^9$ м/кг (табл. 3.12).

Тоді

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{f}} &= 1500 \cdot 10^6 \cdot 22,85 \cdot 10^{-6} \cdot 1,3 \cdot 10^{-2} + 16 \cdot 10^9 \cdot 22,85 \cdot 10^{-6} \times \\ &\times 900 \cdot 30 \cdot 10^{-3} / (1,3 \times 10^{-2})^2 = 445,6 + 1668,2 = 2113,8 \text{ (і à)}. \end{aligned}$$

Розрахований опір відповідає технічним вимогам (табл. 3.2 – тип 2), тому тривалість циклу фільтрування залишаємо $\tau = 900$ с.

6. Визначаємо кількість регенерацій протягом 1 години

$$N_{\text{D}} = \frac{3600}{\tau + \tau'} = \frac{3600}{900 + 40} = 3,83 \text{ (ã ä}^{-1}\text{)}.$$

7. Розраховуємо об'єм газу, який витрачається на зворотну продувку, умовно приймаючи швидкість газу при зворотній продувці рівну швидкості при фільтруванні

$$Q'_p = Q_p \cdot N_p \cdot \tau'_p = 120 \cdot 3,83 \cdot 40 = 18384 \text{ (і}^3\text{/ã ä)}.$$

8. Визначаємо фільтрувальну площу апарата

$$S_0 = \frac{Q'_p + Q_p}{60 \cdot q} = \frac{(120 \cdot 360) + 18384}{60 \cdot 0,78} = 9624 \text{ (і}^2\text{)}.$$

Для заданих умов приймаємо два восьмисекційних фільтри зі зворотною продувкою ФР-5000 (табл. 3.3).

9. За формулою (3.2) знаходимо площу фільтрування, яка виключається під час регенерації

$$S_D = \frac{2 \cdot N_c \cdot S_c \cdot \tau'_p \cdot N_D}{3600} = \frac{2,8 \cdot 625 \cdot 40 \cdot 3,83}{3600} = 425,6 \text{ (і}^2\text{)},$$

де N_c – число секцій, шт;

S_c – площа однієї секції, м².

10. Уточнюємо кількість газу, яка витрачається на зворотну продувку протягом 1 години

$$Q'_p = v_{\delta} \cdot \tau'_p \cdot N_p \cdot 2 \cdot N_c \cdot S_c = 1,3 \cdot 10^2 \cdot 40 \cdot 3,83 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 625 = 19916 \text{ (і}^3\text{/ã ä)}.$$

11. Остаточо визначаємо необхідну площу фільтрування при умові використання 16 секцій (два фільтри ФР-5000)

$$S = \frac{Q_p + Q'_p}{60 \cdot q} + S_p = \frac{120 \cdot 3600 + 19916}{60 \cdot 0,78} + 425,6 = 9656,8 \text{ (і}^2\text{)}.$$

12. Проводимо порівняння часу циклу фільтрування з часом, який затрачений на регенерацію секцій. При умові постійної регенерації однієї із секцій

$$\tau \geq (N_c - 1) \cdot \tau'_p$$

В дійсності $900 > (16 - 1) \cdot 40$,
 $900 > 600$.

13. Отже, на регенерацію відключається по чергово одна секція. Питоме навантаження при регенерації буде складати

$$q' = \frac{Q_p / 60 + S_c q}{S_{\delta} - S_c} = \frac{120 \cdot 3600 / 60 + 625 \cdot 0,78}{100000 - 625} = 0,82 \text{ (і}^2\text{/ (і}^2 \cdot \text{ã ä))},$$

тобто знаходиться в межах розрахункового, що забезпечує надійну експлуатацію апаратів.

Контрольні запитання

1. Поясніть суть та особливості очищення газів фільтруванням.
2. Наведіть класифікацію фільтрів для очищення газів.
3. Опишіть особливості застосування та класифікацію тканинних фільтрів.
4. Розкажіть про порядок очищення газів за допомогою рукавних фільтрів.
5. Опишіть конструкцію, призначення та використання волокнистих фільтрів тонкого очищення.
6. Розкрийте суть основних вимог до оптимальної конструкції волокнистих фільтрів тонкого очищення.
7. Охарактеризуйте особливості глибоких та грубоволокнистих фільтрів.
8. Наведіть класифікацію та особливості застосування зернистих фільтрів для очищення газів.
9. Опишіть порядок очищення газів зернистими фільтрами з нерухомим фільтрувальним шаром.
10. Розкажіть про особливості протікання процесу очищення газів у фільтрах з рухомими шарами зернистого матеріалу.
11. Опишіть суть технологічних розрахунків фільтрів для очищення газів.

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ДО 4 РОЗДІЛУ

- E – напруженість електричного поля, В/м;
 i_0 – лінійна густина струму, А/м²;
 U – напруга, В;
 R_1, R_2 – радіуси осаджувального і коронувального електродів, м;
 t – температура, °С;
 $P_{\text{атм}}$ – барометричний тиск, Па;
 d, r – діаметр і радіус частинок, мкм;
 n – число елементарних зарядів на частинці;
 e – заряд електрона рівний $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;
 ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму, $8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;
 ρ_e – показник діелектричних властивостей частинок;
 $V_{\text{др}}$ – швидкість дрейфу частинок, м/с;
 S – площа, м²;
 L – довжина, м;
 \dot{I} – периметр, м;
 Q – об'ємні витрати газу, м³/с;
 V – швидкість газу, м/с;
 μ – динамічна в'язкість, Па·с;
 b, l – відстані відповідно між пластинами електродів і між сусідніми коронувальними електродами, м;
 T, P – температура і тиск при робочих умовах, К, Па;
 T_0, P_0 – температура і тиск при н. у., К, Па;
 t – температура, °С;
 η – ступінь очищення газів;
 c', c'' – концентрація шкідливих речовин в забруднених і очищених газах, г/м³, мг/м³.

Прийняті скорочення

ОГ – очищений газ;

ЗГ – забруднений газ;

УП – уловлений пил;

н. у. – нормальні умови ($P = 101300$ Па; $t = 20^\circ\text{C}$).

4 ЕЛЕКТРИЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ

Електричне очищення – один з найдосконаліших видів очищення газів від завислих частинок пилу і туману. Апарати для очищення газів під дією електричних сил називаються *електричними фільтрами*.

Гази, які очищаються, пропускають через неоднорідне електричне поле, що утворюється між коронувальним 4 і осадним 1 електродами (рис. 4.1). Коронувальні електроди ізольовані від землі й до них підводиться випрямлений струм негативної полярності напругою 50...80 кВ; осадні електроди заземлені й під'єднані до позитивного полюса. Як осадні електроди використовуються циліндричні або шестигранні труби і профільовані пластини. Коронувальні електроди часто виконуються у вигляді тонкого дроту. Під дією електричного поля, яке виникає між електродами, вільні електрони і позитивно заряджені молекули починають переміщуватися за напрямом силових ліній поля.

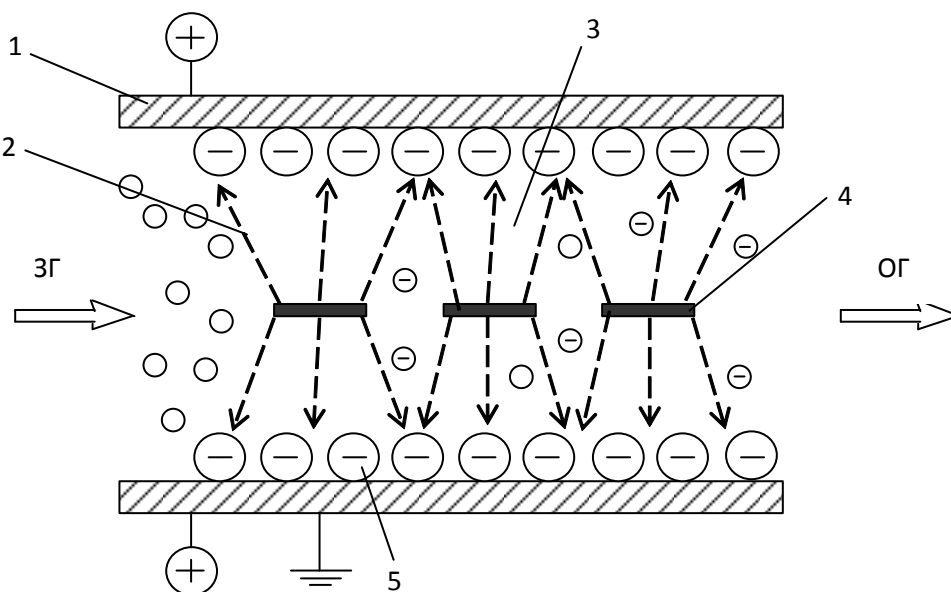


Рисунок 4.1 – Принцип роботи електрофільтра:

1 – осадний електрод; 2 – електричне поле; 3 – заряджена зона;
4 – коронувальний електрод; 5 – шар осілого пилу

Напрямок руху кожного заряду визначається його знаком, а швидкість руху – напруженістю поля; чим вища напруженість, тим більше прискорення одержують іони і електрони. При достатньо високій швидкості іони і електрони, зіткнувшись з нейтральними газовими молекулами, іонізують їх, тобто вибивають з них частину зовнішніх електронів. Знову створені електрони, в свою чергу, також іонізують молекули газу. Такий процес прийнято називати ударною іонізацією. Найінтенсивніше ударна іонізація проходить біля поверхні коронувального

електрода, до якого підведена напруга. Напруженість поля E_x , В/м, на відстані x метрів від осі коронувального електрода визначається за формулою, виведеною на основі теореми Остроградського-Гауса:

$$E_x = U/2,31g(R_2/R_1), \quad (4.1)$$

де U – напруга, прикладена до електродів, В;

R_1, R_2 – радіуси коронувального і осадового електродів, м.

З формули (4.1) витікає, що з віддаленням від коронувального проводу напруженість поля зменшується. Розряд зі змінною напруженістю прийнято називати *коронним*. Напруга, при якій виникає коронний розряд, називається критичною. Зміну сили струму і напруги при коронному розряді наведено на рис. 4.2.

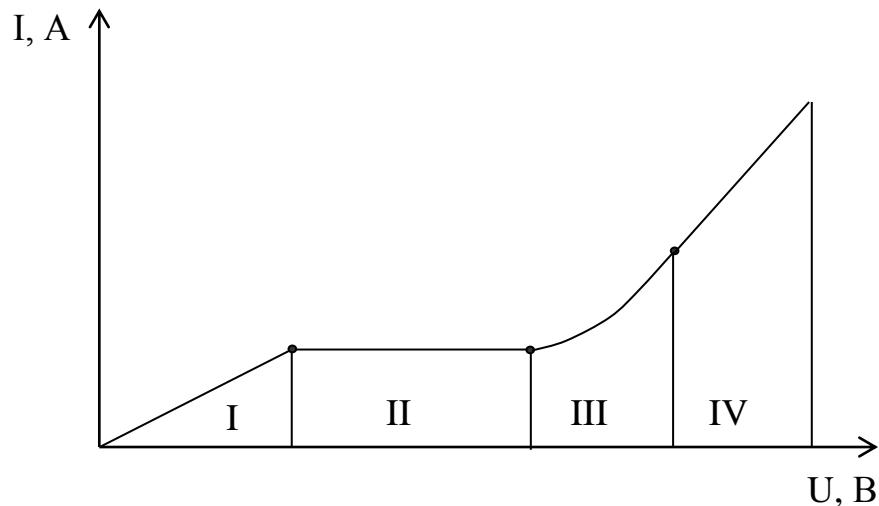


Рисунок 4.2 – Зміна сили струму зі збільшенням напруги в електрофільтрі

Періоди: I – початкова іонізація газу; II – насичення; III – коронування; IV – дуговий електричний розряд

Зовнішній вияв коронного розряду – помітне в темноті слабке блакитно-фіолетове світіння навколо коронувального проводу. Критичну напруженість електричного поля, при якій виникає корона, для повітря визначають за формулою Піка (В/м):

$$E_0 = 3,04(\beta + 0,0311\sqrt{\beta/R_1}) \cdot 10^6, \quad (4.2)$$

де β – відношення густини повітря в робочих і стандартних умовах:

$$\beta = (P_{\text{атм}} \pm P) 293 / 101,3 \cdot 10^3 (273 + t), \quad (4.3)$$

де $P_{\text{атм}}$ – барометричний тиск, кПа;

P – розрідження чи надлишковий тиск, кПа;

t – температура газів, °С.

При значному збільшенні напруги більше критичної електрична міцність газового проміжку може бути порушена іскровим чи дуговим електричним розрядом. Зовнішній вияв дугового розряду – збільшення споживання струму (див. рис. 4.2). На інтенсивність коронування великий вплив має хімічний склад газу. Наявність сірчаного ангідриду, водяної пари, двоокису вуглецю збільшує робочу зону коронного розряду. При нормальних умовах напруженість поля складає для повітря 35,5 кВ/см, для двоокису вуглецю – 26,2 кВ/см, для азоту – 38 кВ/см.

Процес електричного вловлювання частинок в електрофільтрі можна розділити на три стадії:

- зарядження завислих частинок;
- рух заряджених частинок до електродів;
- осадження заряджених частинок на електродах.

Зарядження в електричному полі корони завислих в газі частинок проходить внаслідок адсорбції іонів поверхнею завислих частинок. Частинки розміром більше 1 мкм заряджаються, головним чином, іонами, які рухаються під дією сил електричного поля, а частинки значно менші 1 мкм (практично менше 0,2 мкм) заряджаються в основному іонами, які беруть участь у дифузійному процесі (тепловому русі газових молекул).

Для частинок з діаметром $d=0,2...0,5$ мкм ефективні обидва механізми. Зі збільшенням заряду частинки відштовхувальна сила між нею і однойменно зарядженими іонами збільшується, доки заряд на частинці не досягне максимального. Максимальне значення заряду частинок $q_{i \text{ дѣн}}$, Кл, з $d > 1$ мкм, при якому припиняється процес зарядження, може бути підраховано за формулою Потенье:

$$q_{i \text{ дѣн}} = ne = \pi d^2 \varepsilon_0 \rho_e E_C, \quad (4.4)$$

де n – число елементарних зарядів на частинці;

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – значення заряду електрона;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – діелектрична проникність вакууму;

E_C – напруженість електричного поля коронного розряду в зоні знаходження частинки, В/м;

d – діаметр частинки, мкм;

ρ_e – показник діелектричних властивостей частинок (в середньому

можна прийняти для провідних частинок $\rho_e = 3$, для діелектричних $\rho_e = 1,2$).

В звичайних умовах коронного розряду швидкість зарядження частинок достатньо велика: приблизно за 0,1 с частинка набуває 90% максимального заряду.

Для частинок з $d < 0,2$ мкм при умовах, які зустрічаються в практиці ($t = 150 \dots 400^\circ\text{C}$) максимальна величина заряду q_i , Кл, знаходиться за формулою:

$$q_i = ne = 10^8 ed . \quad (4.5)$$

Таким чином, виявляється, що максимальна величина заряду частинок з $d > 1$ мкм пропорційна квадрату діаметра частинки, а з $d < 0,2$ мкм – діаметру.

Внаслідок одночасного осаджування багатьох частинок на поверхню осаджувального електрода на ньому утворюється шар пилу, який перезаряджається, тобто набуває протилежного знаку однакового зі знаком заряду осаджувального електрода. Час перезарядки залежить від опору пилу. Залежно від питомого опору шару пилу, який осів на електроді при вловлюванні в електрофільтрі, пил поділяють на три групи.

Перша група – з малим питомим електричним опором (до 10^2 Ом·м). Час розрядки такого шару надто малий. Частинки, як тільки торкаються поверхні електрода, майже миттю перезаряджаються, внаслідок чого можуть відштовхуватися від електрода, знову попасти в газовий потік і бути винесеними з електрофільтра.

Друга група – з середнім питомим опором ($10^2 \dots 10^8$ Ом·м). Пил легко осаджується на електродах і легко видаляється з них при струшуванні.

Третя група – з високим питомим опором ($> 10^8$ Ом·м). Цей пил найважче вловлюється в електрофільтрах, тому що на електродах частинки розряджаються повільно, що значно перешкоджає осадженню нових частинок. Крім того, пил третьої групи важко видаляти з поверхні електродів струшувальними механізмами, що ще більше ускладнює роботу електрофільтрів.

4.1 Типи і конструкції електрофільтрів

Широке використання електрофільтрів в різних галузях промисловості привело до створення різних типів і конструкцій апаратів.

За розміщенням зон зарядки і осаджування електрофільтри поділяються на однозонні та двозонні. В однозонних (рис. 4.3) зони зарядки і осадження суміщені, а в двозонних (рис. 4.4) зарядження проходить в іонізаторі, а осаджування – в осаджувачі.

Двобічні апарати отримали деяке розповсюдження для очищення повітря, яке надходить в лабораторії і цехи, вміст пилу в яких суворо регламентується.

Залежно від напрямку газів в активній зоні фільтри поділяються на вертикальні та горизонтальні.

За способом видалення осаджених на електродах частинок розрізняють сухі та мокрі електрофільтри. В сухих електрофільтрах частинки, які осіли на електродах, видаляються за допомогою струшування, а в мокрих – змиваються водою.

Залежно від числа послідовно розташованих систем електродів бувають одно-, дво-, три- і чотирьохповерхові електрофільтри, а залежно від числа паралельно розташованих систем – одно-, дво- і трисекційні. Секції можуть бути розділені глухою перегородкою або тільки на електричних полях. На рис. 4.3 зображений двохповерховий односекційний електрофільтр.

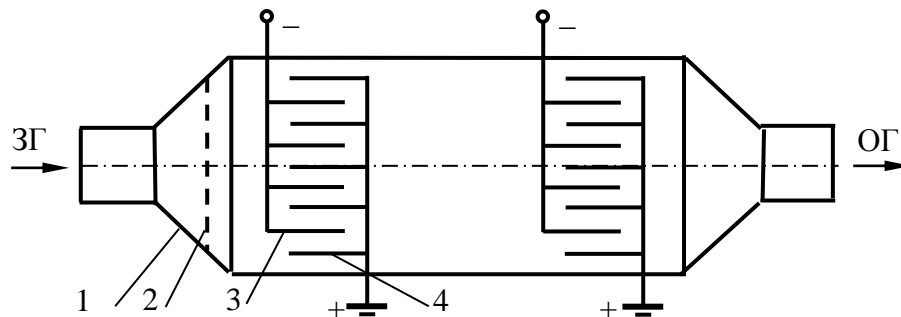


Рисунок 4.3 – Конструктивна схема одноповерхового двохповерхового електрофільтра:

1 – корпус; 2 – газорозподільна решітка; 3 – система коронувальних електродів; 4 – осадкові електроди

Найрозповсюдженим типом сухих електрофільтрів є багатопорожнинний горизонтальний електрофільтр. Наявність декількох послідовних полів поліпшує умови вловлювання частинок через можливість диференціації електричного режиму і режиму струшування електродів на полях.

Вертикальні електрофільтри в більшості є одноповерховими, що значно обмежує їх застосування для сухого пилоловлювання через низьку ефективність.

Мокрі електрофільтри виконують вертикальними одноповерховими або горизонтальними багатопорожнинними.

Електрофільтраційна установка (рис. 4.5) складається з власне електрофільтра 7, агрегатів живлення (1, 2 і 3) і систем видалення пилу чи шлаку. До агрегатів живлення відносяться регулятор напруги, підвищувальний трансформатор і високовольтний випрямляч. Оскільки

ефективність електрофільтра тим вища, чим ближча робоча напруга до пробивної, для забезпечення оптимального режиму апарата необхідно регулювати напругу на електродах, підтримуючи її на максимально високому рівні. Пробивна напруга в електрофільтрі залежить від багатьох факторів (кількості очищуваних газів, їх температури, густини і вологості, концентрації частинок в газах, наявності шару пилу на електродах тощо), і тому коливається в значних межах, особливо в сухих електрофільтрах. В зв'язку з цим швидкість і спосіб регулювання напруги чи струму та ступінь автоматизації цього процесу мають першорядне значення.

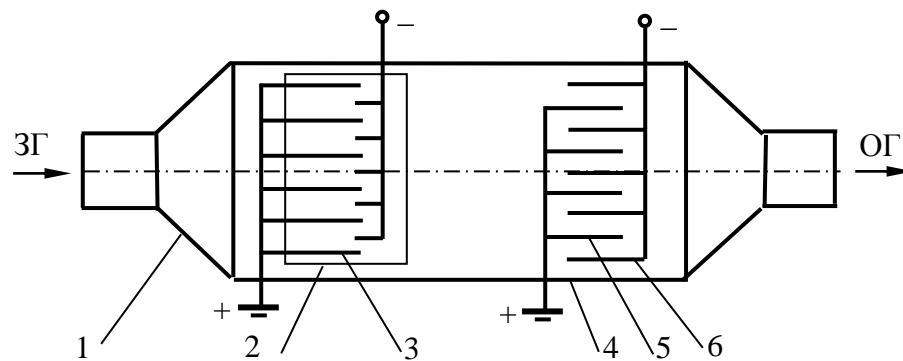


Рисунок 4.4 – Конструктивна схема двозонного електрофільтра:
1 – корпус; 2 – іонізатор; 3 – електроди іонізатора; 4 – осаджувач;
5 – осадкові електроди; 6 – коронувальні електроди

Ступінь очищення в електрофільтрі значно залежить від способу і режиму регенерації електродів. В сухих електрофільтрах для видалення пилу з осадкових і коронувальних електродів застосовується ударно-молоткова, пружинно-кулачкова, магнітно-імпульсна і вібраційна системи струшування. Для видалення осаджених твердих частинок в мокрих електрофільтрах застосовується періодичне або безперервне промивання електродів поданням на електроди необхідної кількості промивної рідини, яка змиває осаджений пил.

В промисловості використовують декілька типових конструкцій сухих і мокрих електрофільтрів, які застосовуються для очищення технологічних викидів. В таблиці 4.1 наведені основні технічні характеристики деяких сухих електрофільтрів.

Електрофільтри серії УГ – уніфіковані горизонтальні сухі загально-промислового призначення. Випускаються трьох габаритів залежно від активної висоти поля:

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

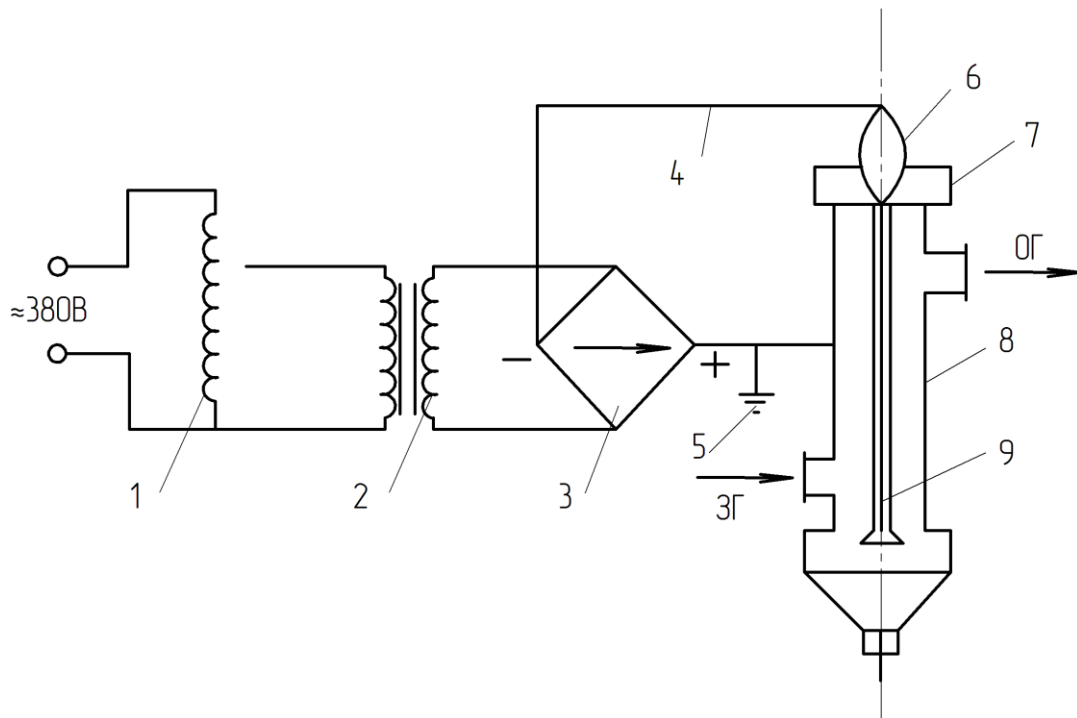


Рисунок 4.5 – Схема електрофільтраційної установки:

- 1 – регулятор напруги; 2 – підвищувальний трансформатор;
- 3 – високовольтний випрямляч; 4 – високовольтний, кабель;
- 5 – заземлення; 6 – ізолятор; 7 – електрофільтр; 8 – осадовий електрод; 9 – коронувальний електрод

Електрофільтри першого і другого габаритів мають активну довжину поля 2,5 м, а електрофільтри третього габариту – 4 м.

Електрофільтри першого габариту випускаються дво- і трипорожнинними, а другого і третього – три- і чотирипорожнинними.

Осадкові електроди в електрофільтрах УГ з профільованих тонкостінних широкосмугових елементів відкритого профілю з нижнім молотковим струшуванням.

Коронувальні електроди – рамної конструкції, з боковим підвішуванням на кварцових опорно-прохідних ізоляторах і молотковим струшуванням. Елементи коронувальних електродів голчасті, з сталльної штаби з виштампованим вістрям.

Корпуси електрофільтрів УГ розраховані на роботу при розрідженні до 3000...4000 Па і заповненні бункерів пилом з насипною масою до 1500 кг/м³.

Електрофільтри серії ЕГА – горизонтальні модифікації А, виготовляються в широкому діапазоні типорозмірів з уніфікованими вузлами, що дозволяє забезпечити найкращі техніко-економічні показники установок електрогазоочищення.

Електродна система складена з широкосмугових (ширина елемента

640 мм) елементів відкритого профілю і рамних коронувальних електродів з голчастими елементами. Відстань між однойменними електродами 300 мм. Електрофільтри з числом проходів від 10 до 40 – односекційні, від 48 до 88 – двосекційні.

Умовне позначення типорозміру електрофільтра: Е – електрофільтр; Г – горизонтальний; А – модифікація; числа після букв означають: перше – кількість секцій; друге – число газових проходів; третє – номінальна висота електродів, м; четверте – кількість елементів в осадовому електроді; п'яте – кількість електричних полів по довжині електрофільтра.

Електрофільтри серії УВ – уніфіковані вертикальні пластинкові сухі для очищення газів при температурі до 250°C. Мають одне поле активною довжиною 7,4 м і розділені на 1...3 секції.

Основні конструктивні елементи електрофільтрів серії УВ, в тому числі профіль і розміри елементів осадових електродів, коронувальні електроди, вузли механізмів струшування уніфіковані з відповідними елементами електрофільтрів серії УГ.

Електрофільтри серії УВВ – уніфіковані вертикальні пластинкові сухі електрофільтри для вловлювання з газів вугільного пилу при температурі до 130°C. Особливістю електрофільтрів серії УВВ є те, що через можливе виникнення вибухонебезпеки при накопиченні вугільного пилу корпуси електрофільтрів виконані у вигляді шахти, відкритої в атмосферу. Це запобігає зруйнуванню корпусу при вибухах або спалахах.

Основні технічні характеристики мокрих електрофільтрів наведені в таблиці 4.2.

Електрофільтри типу С і ПГ – однопорожнинні вертикальні трубчасті електрофільтри в циліндричному корпусі, розраховані на роботу під тиском до 0,03 МПа при температурі до 60°C.

Електрофільтри типу С призначені для вловлювання смоли з газів коксохімічних виробництв і генераторних газів, а електрофільтри типу ПГ – для вловлювання смоли і пилу з генераторних газів або для аналогічних умов.

Осадкові електроди виготовляються з сталених труб внутрішнім діаметром від 250 до 260 мм, коронувальні електроди – з ніхромового дроту діаметром 3 мм.

Система коронувальних електродів підвішується до корпусу на тарілчастих фарфорових ізоляторах, розташованих в обігрівних коробках, струмопідвід в електрофільтр виконаний за допомогою спеціальних прохідних ізоляторів. Електрофільтри типу ПГ забезпечені системою періодичного промивання, яка складається з колектора з форсунками, розташованого над активною зоною. В електрофільтрах типу С ця система непередбачена, тому що вловлювана смола стікає з електродів самостійно.

Таблиця 4.1 – Основні технічні характеристики сухих електрофільтрів серії УГ [42]

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

Продовження таблиці 4.1

1	2									
	ЕГА1- 10-6-4-2	ЕГА1- 14-7,5-4- 3	ЕГА1- 20-7,5-6- 2	ЕГА1- 30-9-6-3	ЕГА1- 40-12-6-3	ЕГА2- 88-12-6-4	УВ- 3×16	УВ- 3×24	УВВ- 8	УВВ- 16
Активна висота електродів, м	6	7,5	7,5	9,0	12	12	-	-	-	-
Активна довжина електричного поля, м	2,56	2,56	3,84	3,84	3,84	3,84	7,4	7,4	6,2	6,2
Загальна площа осаджування, м ²	630	1660	2360	6360	11250	33000	1800	3900	285	570
Площа активного перерізу, м ²	16,5	28,7	41,0	73,4	129,8	285,6	32	72	8	16
Питомі витрати електроенергії на 1000 м ³ /год газу, кВт·год	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,11	0,11	0,11	0,11
Максимальні ступені очищення	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Максимальна температура очищування газів, °С	330	330	330	330	330	330	250	250	130	130
Крок між однойменними електродами, мм	300	300	300	300	300	300	275	275	350	350
Число секцій	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1
Габаритні розміри, м:										
- довжина	9,26	17,28	11,82	17,26	17,28	22,74	9,0	13,5	20,0	20,0
- висота	12,4	14,9	15,4	16,4	16,9	19,9	19,9	21,4	3,15	3,15
- ширина	3,2	4,4	6,2	9,2	12,2	27,2	4,5	6,0	3,0	6,0

Електрофільтри типу ШМК – вертикальні, однопорожнинні, з шестигранними трубчастими осаджувальними електродами, призначені для очищення пічного газу контактного відділення у виробництві сірчаної кислоти від туману сірчаної кислоти, оксидів арсену і селену. Апарати розраховані на розрідження до 6 кПа і температуру до 50°C.

Система осадкових електродів – пакет виконаних у вигляді сот свинцевих шестигранників, підвішених верхньою частиною до освинцьованої трубної решітки. Коронувальний електрод – освинцьований сталевий дріт. Система коронувальних електродів підвішується на фарфорових ізоляторах. Корпус електрофільтра сталевий, циліндричний, з кислотостійкою футеровкою.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики трубчастих мокрих електрофільтрів

Показники	Марка електрофільтра			
	С-5,0	С-7,2	ПГ-8	ШМК-4,5
Площа активного перерізу, м ²	5,0	7,2	7,8	4,5
Число секцій	1	1	1	1
Число полів	1	1	1	1
Внутрішній діаметр осаджувального електрода, м	250	250	250	-
Активна довжина електричного поля, м	3,5	3,5	3,5	-
Кількість осадкових електродів	104	148	156	86
Розрахунковий тиск газу, МПа	0,03	0,03	0,0008	0,005
Максимальна температура очищення газів, °С	60	60	60	50
Розміри:				
діаметр корпусу, м	3,9	4,6	5,0	-
висота, м	13,3	16,2	15,5	-

4.2 Розрахунок і вибір електрофільтрів

Електрофільтр вибирають відповідно до заданих умов його роботи по площі, перерізу активної зони з наступним перевірою розрахунком ступеня очищення:

$$\eta = 1 - \exp(-V \cdot a), \quad (4.6)$$

де $V_{\dot{\cdot}}$ – швидкість дрейфу частинок до осадового електрода, м/с;
 a – коефіцієнт, який характеризує геометричні розміри апарата і швидкість газу в ньому.

Для осадових електродів всіх типів

$$a = \frac{L\dot{I}}{SV_{\dot{\cdot}}}, \quad (4.7)$$

де L – довжина осадового електрода, м;
 \dot{I} – активний периметр осадового електрода, м;
 S – площа перерізу активної зони, обмеженої стінками осадового електрода, м².

Величину S , м², знаходять за формулою

$$S = K_c \cdot \frac{Q}{V}, \quad (4.8)$$

де Q – об'ємні витрати газу при температурі очищення, м³/с;
 V – швидкість газу в апараті, м/с ($V=0,8...2,0$ м/с);
 K_c – коефіцієнт запасу, який враховує підсмоктування повітря ($K_c=1,1$).

Для пластинчатих електродів $\dot{I}/S=2/b$, де b – відстань між пластинами (приймають $b=0,3$ м).

Реальна швидкість дрейфу заряджених частинок менша розрахункової (в 2 рази) з умов стоксовського режиму осадження:

$$V_{\dot{\cdot}} = \frac{6 \cdot 10^{-12} K_{\dot{\cdot}} E^2 r}{\mu_a}, \quad (4.9)$$

де E – напруженість електричного поля, В/м;
 r – радіус частинки, мкм;
 μ_a – динамічна в'язкість газу, Па·с;
 $K_{\dot{\cdot}}=1$ для частинок розміром 2...50 мкм і $K_{\dot{\cdot}}=1+1,107r$ для частинок до 2 мкм.

Для практичних розрахунків швидкість дрейфу частинок можна вибирати за табл. 4.3.

Напруженість електричного поля E , В/м, в трубчастих електрофільтрах

$$E = \sqrt{i_0 / 2\pi\epsilon_0 K}. \quad (4.10)$$

Таблиця 4.3 – Швидкість дрейфу частинок в активній зоні електрофільтра

Показник	Напруженість електричного поля, В/м	Діаметр частинок d , мкм				
		0,4	1,0	2,0	10,0	30,0
Швидкість дрейфу $V_{\dot{z}}$, м/с	$15 \cdot 10^4$	0,012	0,013	0,015	0,075	0,10
	$30 \cdot 10^4$	0,025	0,030	0,060	0,50	0,60

в пластинкових

$$E = \sqrt{i_0 b / (2\pi \epsilon_0 K l)}, \quad (4.11)$$

де i_0 – лінійна густина струму корони, А/м;

ϵ_0 – електрична стала, Ф/м ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$);

K – рухомість іонів, м²/В·с, (табл. 4.4);

l – відстань між сусідніми коронувальними електродами в ряду, м (приймають = 0,25 м);

b – відстань між пластинами електродів, м.

Для пластинчастих електрофільтрів лінійна густина струму, А/м², корони

$$i_0 = U \cdot (U - U_0) 4\pi^2 K K_1 / (9 \cdot 10^9 l^2 (\pi b / 2l - \ln(2\pi R_1 / l))), \quad (4.12)$$

для трубчастих

$$i_0 = (U - U_0) 2K / (9 \cdot 10^3 \cdot R_1^2 \cdot \ln(K / K_1)) \cdot U \cdot (U - U_0), \quad (4.13)$$

де U – напруга на електродах, В;

U_0 – критична напруга (напруга коронного розряду), В;

R_1 – радіус осаджувального електрода, м (приймається $R_1 = 0,0015$ м);

K_1 – коефіцієнт компонування електродів між пластинами

($K_1 = 0,12 \cdot (l/b)^2$).

Критична напруга для трубчастих електрофільтрів

$$U_0 = E_0 R_1 \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right), \quad (4.14)$$

для пластинкових

$$U_0 = E_0 R_1 (\pi \cdot b / 2 \cdot l \cdot \ln(2\pi R_1 / l)), \quad (4.15)$$

де E_0 – критична напруженість електричного поля, В/м, визначається за формулою (4.2).

Таблиця 4.4 – Рухомість іонів в газах і парах, м²/В·с при н. у.

Гази і пари	Рухомість іонів, К·10 ⁻⁴		Гази і пари	Рухомість іонів, К·10 ⁻⁴	
	негативна	позитивна		негативна	позитивна
Азот	1,84	1,28	Гелій	6,31	5,13
Аміак	0,66	0,57	Двоокис вуглецю	0,96	-
Водень	8,13	5,92	Кисень	1,84	1,32
Водяна пара при 100°С	0,57	0,62	Окис вуглецю	1,15	1,11
Повітря: дуже чисте, сухе	2,48 2,1	1,84 1,32	Сірчаний ангідрид	0,41	0,41
			Двоокис вуглецю насичений водяною парою при 25°С	0,82	-

Приклад 4.1. Підібрати тип і кількість електрофільтрів за даними каталогу для очищення газів, які виходять з котлоагрегату ПК-10 паропродуктивністю 230 т/год. Топка котла камерна, з сухим шлаковивантажуванням. Марка спалюваного палива – вугілля донецьке пісне марки Т такого складу, %: вуглецю $\tilde{N}^D-70,6$; водню $\hat{I}^D-3,4$; кисню $\hat{I}^D-1,9$; азоту $N^D-1,2$; леткої сірки $S^D-2,7$; мінеральних домішок $A^D-15,2$; вологи $W^D-5,0$.

Витрати палива $Q_i=6,7$ кг/с (24 т/год), температура газів перед золовловлювачем 150°С, коефіцієнт надлишкового повітря в газах перед золовловлювачем $\alpha=1,45$; розрідження – 2500Па, необхідна ефективність очищення $\eta=98\%$, атмосферний тиск $D_a=99300$ Па.

Розв'язування

1. Користуючись тепловим розрахунком котельних агрегатів, визначаємо витрати газів, які необхідно очищати. Об'єм димових газів (при н. у.) на 1 кг спалюваного палива

$$Q_{\Gamma} = Q_{\text{RO}_2} + Q_{0\text{N}_2} + Q_{0\text{N}_2\text{O}} + (\alpha - 1)V_0 \quad (\text{і}^3/\text{êã}),$$

де об'єм триатомних газів

$$Q_{\text{RO}_2} = 1,886 \frac{\tilde{N}^{\delta} + 0,375 \cdot S^{\text{P}}}{100} = 1,886 \frac{70,6 + 0,375 \cdot 2,7}{100} = 1,34 \quad (\text{і}^3/\text{êã}),$$

2. Теоретична кількість сухого повітря, необхідна для повного згоряння палива (при н. у.)

$$\begin{aligned} Q_0 &= 0,0889 (\tilde{N}^{\delta} + 0,375 S^{\delta}) + 0,265 \dot{I}^{\delta} + 0,0333 Q^{\delta} = \\ &= 0,0869 (70,6 + 0,375 \cdot 2,7) + 0,265 \cdot 3,4 + 0,0333 \cdot 1,9 = 7,33 \quad (\text{і}^3/\text{êã}). \end{aligned}$$

3. Теоретичний об'єм азоту

$$Q_{0\text{N}_2} = 0,79 V_0 + 0,8 \frac{N^{\delta}}{100} = 0,79 \cdot 7,33 + 0,8 \cdot \frac{1,2}{100} = 5,8 \quad (\text{і}^3/\text{êã}).$$

4. Теоретичний об'єм водяних парів

$$\begin{aligned} Q_{0\text{H}_2\text{O}} &= 0,111 H^{\text{P}} + 0,0124 W^{\text{P}} + 0,0161 Q_0 = \\ &= 0,111 \cdot 3,4 + 0,0124 \cdot 5,0 + 0,0161 \cdot 7,33 = 0,56 \quad (\text{і}^3/\text{êã}). \end{aligned}$$

5. Об'єм водяних парів при коефіцієнті надлишкового повітря $\alpha = 1,45$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = Q_{0\text{H}_2\text{O}} + 0,0161(\alpha - 1)Q_0 = 0,56 + 0,0161(1,45 - 1) \cdot 7,33 = 0,61 \quad (\text{і}^3/\text{êã}).$$

6. Загальний об'єм димових газів

$$Q_r = Q_{RO_2} + Q_{O_{N_2}} + Q_{O_{H_2O}} + (\alpha - 1)Q_0 = 1,34 + 5,70 + 0,61 + 0,45 \cdot 7,33 = 11 \text{ (і}^3/\text{с)}.$$

7. Об'ємні витрати димових газів, які проходять через золо вловлювач з врахуванням 10% підсмоктування атмосферного повітря

$$Q = Q_r \cdot Q_i \cdot 1,1 \cdot \frac{T+t}{T} = 11 \cdot 6,7 \cdot 1,1 \cdot \frac{273+150}{273} = 126 \text{ (і}^3/\text{с)}.$$

8. Концентрація золи в димових газах, які поступають на очищення

$$C' = \frac{10A^P q_c}{Q_r} = \frac{10 \cdot 15,2 \cdot 0,9}{11} = 12,4 \text{ (і}^3/\text{с)}.$$

де q_c – частка золи, яка виноситься з газами; для пиловугільних топок з сухим шлаковивантажуванням $q_c = 0,9$.

9. Приймаємо швидкість газу в активному перерізі електрофільтра $V = 1,8$ м/с ($V_i = 0,8 \dots 2,0$ м/с). Тоді необхідна площа активного перерізу

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{126}{1,8} = 70 \text{ (і}^2\text{)}.$$

10. Враховуючи необхідну ефективність очищення газів, розрідження в апараті і площу активного перерізу в даному випадку можна застосувати:

- два уніфікованих чотирьохпорожнинних горизонтальних електрофільтри площею активного перерізу 37 м^2 кожний марки УГ2-4-37 (питомі витрати електроенергії $q_e = 0,30$ кВт на $1000 \text{ м}^3/\text{год}$ газу);

- один горизонтальний електрофільтр з уніфікованими вузлами ЕГА 1-30-9-6-3 площею активного перерізу $73,4 \text{ м}^2$ (питомі витрати електроенергії $q_e = 0,20$ кВт на $1000 \text{ м}^3/\text{год}$ газу);

- один уніфікований горизонтальний трисекційний електрофільтр УВ-3х24 площею активного перерізу 72 м^2 (питомі витрати електроенергії $0,11$ кВт на $1000 \text{ м}^3/\text{год}$ газу).

Приклад 4.2. Вибрати газоочисний апарат для вловлювання пилу у вихідних газах при таких даних: вміст твердих частинок в газі при нормальних умовах $\tilde{N}' = 25 \text{ г}/\text{м}^3$; розрідження в системі $\bar{D} = 1500$ Па; витрати газу $Q_i = 15 \text{ м}^3/\text{с}$; температура газу $t = 150^\circ\text{C}$; динамічна в'язкість при 150°C $\mu = 22,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$; ступінь очищення не нижче $\eta = 95\%$.

Фракційний склад пилу:

$d_e, \text{ мкм}$	0,5	1	5	8	10	15	20	30
$R(\delta)$	0,02	0,03	0,08	0,10	0,15	0,12	0,30	0,20

Розв'язування

1. При великому вмісту (13%) частинок з розмірами 0...5 мкм і необхідному ступеню очищення (0,95) попередньо вибираємо пиловловлювач класу електрофільтра.

2. При робочій температурі об'ємні витрати газу

$$Q_r = Q_n \cdot 1,1 \cdot \frac{TP_b}{T_0} = 15 \cdot \frac{(273+150)101300}{273(101300-1500)} = 23,6 \text{ (м}^3/\text{год)}.$$

3. Площа перерізу активної зони для прийнятої ($V=0,8$ м/с) швидкості газу

$$S = \frac{K_3 Q_p}{V} = \frac{1,1 \cdot 23,6}{0,8} = 32,45 \text{ (м}^2\text{)},$$

де K_3 – коефіцієнт запасу приймається рівним 1,1.

4. Згідно з даними табл. 4.1 таку площу можуть забезпечити одиночні фільтри УГ 2-3-37, ЕГА 1-20-7,6-6-2 або вертикальний фільтр УВ-2х16.

Для визначення оптимального варіанта розраховуємо витрати електроенергії для кожного фільтра, використовуючи значення питомих витрат електроенергії з табл. 4.1. Тоді: для електрофільтра УГ-2-3-37

$$N = q_e Q_p \cdot 3600 / 1000 = 0,3 \cdot 23,6 \cdot 3600 / 1000 = 25,5 \text{ (кВт)},$$

для електрофільтра ЕГА 1-20-7,5-6-2

$$N = 0,2 \cdot 23,6 \cdot 3600 / 1000 = 17 \text{ (кВт)},$$

для електрофільтра УВ-2х16

$$N = 0,11 \cdot 23,6 \cdot 3600 / 1000 = 9,34 \text{ (кВт)}.$$

5. З трьох апаратів за мінімальними енергозатратами вибираємо пиловловлювач УВ-2х16 з такими параметрами: $L=7,4$ м; $B=0,275$ м; $l=0,25$ м і $R_1 = 0,0015$ м. Напруга на електродах $U=60$ кВ.

6. Відносна густина газу

$$\beta = \frac{T_0}{T} \cdot \frac{P_0 - P^1}{P_0} = \frac{273}{273+150} \cdot \frac{101300-1500}{101300} = 0,64.$$

7. Критична напруженість поля

$$\begin{aligned} E_0 &= 3,04(\beta + 0,0311\sqrt{\beta/R_1})10^6 = \\ &= 3,04(0,68 + 0,0311\sqrt{0,64/0,0015})10^6 = 4,0 \cdot 10^6 \text{ (В/м)}. \end{aligned}$$

8. Критична напруга корони буде рівна

$$\begin{aligned} U_0 &= E_0 R_1 (\pi b / (2l) - \ln(2\pi R_1 / l)) = \\ &= 4,0 \cdot 10^6 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} (3,14 \cdot 0,275 / (2 \cdot 0,25) - \\ &\quad - \ln(2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} / 0,25)) = 30,0 \cdot 10^3 \text{ (В)}. \end{aligned}$$

9. Лінійна густина струму корони при

$$K_1 = 0,12(1/b)^2 = 0,12(0,25/0,275)^2 = 0,099$$

і $K = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ – табличне значення для сухого повітря (табл. 4.4)

$$\begin{aligned} i_0 &= \frac{U(U-U_0)4\pi^2 K K_1}{9 \cdot 10^9 l^2 (\pi b / (2l) - \ln(2\pi R_1 / l))} = \\ &= \frac{60 \cdot 10^3 (60 \cdot 10^3 - 30 \cdot 10^3) 4 \cdot 3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,099}{9 \cdot 10^9 \cdot 0,25^2 (3,14 \cdot 0,275 / (2 \cdot 0,25) - \ln(2 \cdot 3,14 \cdot 0,0015 / 0,25))} = \\ &= 0,42 \cdot 10^{-3} \text{ (А/м)}. \end{aligned}$$

10. Напруженість електричного поля

$$E = \sqrt{i_0 b / (\pi \epsilon_0 K l)} =$$

$$= \sqrt{0,42 \cdot 10^{-3} \cdot 0,275 / (3,14 \cdot 8,55 \cdot 10^{-12} \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,25)} =$$

$$= 2,86 \cdot 10^5 \text{ (Å)} \hat{=} \text{Å}$$

11. Швидкість дрейфу частинок з розмірами r визначаємо за формулою

$$V_r = 6 \cdot 10^{-12} K_2 \cdot E^2 \cdot r / \mu$$

12. Для частинок різного радіуса, швидкість дрейфу V_r , м/с буде рівна

$$V_r^{0,1-2} = 6 \cdot 10^{-12} (1 + 1 / (10^7 \cdot \div)) E^2 \cdot \div / \mu =$$

$$= V_r^{2-50} (1 + 1 / (10^7 \cdot \div)) = 2,7 \cdot 10^4 (1 + 1 / (10^7 \cdot \div)) \div \quad \hat{=} \text{Å}$$

13. Для визначення ступеня очищення знаходимо коефіцієнт α , що характеризує геометричні розміри апарата і швидкість газу в ньому

$V_r^{0,5} = 0,945 \cdot 10^{-2}$	$V_r^1 = 1,62 \cdot 10^{-2}$	$V_r^5 = 6,75 \cdot 10^{-2}$	$V_r^8 = 10,8 \cdot 10^{-2}$
$V_r^{10} = 13,5 \cdot 10^{-2}$	$V_r^{15} = 20,25 \cdot 10^{-2}$	$V_r^{20} = 27 \cdot 10^{-2}$	$V_r^{30} = 40,5 \cdot 10^{-2}$

14. Для визначення ступеню очищення знаходимо коефіцієнт α , що характеризує геометричні розміри апарата і швидкість газу в ньому

$$\alpha = L \hat{=} / (S V_r) = 2L / (S V_r) = 2 \cdot 7,4 / (0,275 \cdot 0,8) = 67,3 \text{ (Å)} \hat{=} \text{Å}$$

15. Знаходимо фракційні ступені очищення η за формулою

$$\eta = 1 - e^{-V_r \cdot \alpha}$$

і зводимо дані в таблицю

$\eta^{0,5}$	η^1	η^5	η^8	η^{10}	η^{15}	η^{20}	η^{30}
0,468	0,663	0,988	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999

16. Загальна ефективність очищення газів буде рівна (величини η_i $\hat{=} R_i$ в %):

$$\begin{aligned} & \frac{\eta^{0,5} \cdot R^{0,5}}{100} + \frac{\eta^1 \cdot R^1}{100} + \frac{\eta^5 \cdot R^5}{100} + \frac{\eta^8 \cdot R^8}{100} + \frac{\eta^{10} \cdot R^{10}}{100} + \frac{\eta^{15} \cdot R^{15}}{100} + \frac{\eta^{20} \cdot R^{20}}{100} + \frac{\eta^{30} \cdot R^{30}}{100} = \\ & = \frac{46,8 \cdot 2}{100} + \frac{66,3 \cdot 3}{100} + \frac{98,8 \cdot 8}{100} + \frac{99,9 \cdot 10}{100} + \frac{99,9 \cdot 15}{100} + \frac{99,9 \cdot 12}{100} + \frac{99,9 \cdot 30}{100} + \frac{99,9 \cdot 20}{100} = \\ & = 97,74\% \end{aligned}$$

Оскільки фактична ефективність очищення більша необхідної (97,74 > 95), то вибраний газоочисний апарат відповідає вимогам до очищення газів.

Контрольні запитання

1. Опишіть принцип електричного очищення газів.
2. Поясніть суть та властивості коронного розряду.
3. Розкрийте особливості процесу електричного уловлювання частинок в електрофільтрі.
4. Охарактеризуйте групи пилу, уловлюваного в електрофільтрах.
5. Наведіть класифікацію типів електрофільтрів.
6. Опишіть роботу електрофільтраційної установки.
7. Охарактеризуйте електрофільтри серій УГ, УВ та ЕГА.
8. Розкажіть про особливості електрофільтрів типів С, ПГ та ШМК.
9. Розкрийте суть розрахунку та вибору електрофільтрів.

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ДО 5 РОЗДІЛУ

- S – площа, м;
 H, h – висота, м;
 L, l – довжина, м, мм;
 \hat{A}, \hat{a} – ширина, м, мм;
 Q – витрати газу, м³/с;
 Q_{δ} – витрати рідини на зрошення, кг/с;
 D – діаметр, м, мм;
 V – швидкість руху газу, м/с;
 V_{δ} – швидкість зрошуваної рідини, м/с;
 \dot{I} – питомі витрати рідини, кг/м³;
 \tilde{n}', \tilde{n}'' – концентрації пилу, відповідно на вході та виході з апарата, г/м³, мг/м³;
 S_0 – вільний переріз решітки, м²/м²;
 d_e – діаметр кулькової насадки, м;
 $d_{\bar{r}}$ – діаметр частинок пилу, мкм;
 d_0 – діаметр отворів в решітці, мм;
 ρ – густина газу, кг/м³;
 ρ_i – насипна густина, кг/м³;
 ρ_3 – густина зрошення, м³/ м²·год;
 η – ефективність очищення;
 g – прискорення сили ваги, м/с²;
 ΔP – гідравлічний опір, Па;
 ζ_0 – коефіцієнт місцевого опору решітки;
 σ – поверхневий натяг, Н/м;
 \dot{A} – поверхня осадження, м²;
 V_0 – ефективна швидкість осадження золи, м/с;
 t – температура, °С;
 T – абсолютна температура, К.

5 МОКРЕ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ

5.1 Фізичні основи мокрого пиловловлювання

Процес мокрого пиловловлювання заснований на контакті запиленого газового потоку з рідиною, осадженні частинок пилу на поверхню рідини (краплин або плівки) і винесенні їх з апарата у вигляді шламу. Осадження частинок пилу на рідину проходить під дією сил інерції та броунівського руху.

Сили інерції діють на частинки пилу і краплини рідини при їх зближенні. Ці сили залежать від маси краплин і частинок, а також від швидкості їх руху. Частинки пилу малого розміру (менше 1 мкм) не мають достатньої кінетичної енергії, тому при зближенні обминають краплини і не вловлюються рідиною. Броунівський рух характерний для частинок малого розміру. Для досягнення високої ефективності очищення газів від частинок домішок за рахунок броунівського руху необхідно зменшити швидкість руху газового потоку в апараті.

Крім цих основних сил на процес осадження впливають: *турбулентна дифузія, взаємодія електрично заряджених частинок, процеси конденсації, випаровування* тощо. У всіх випадках очищення газів у мокрих пиловловлювачах важливим фактором є змочуваність частинок рідиною (чим краща змочуваність, тим ефективніший процес очищення).

У вітчизняній техніці пилоочищення апарати мокрого пиловловлювання носять назву мокрих фільтрів, мокрих газопромивачів, мокрих пиловловлювачів, в зарубіжній техніці вони відомі під назвою *мокрих скрубєрів*.

Мокрі пиловловлювачі мають ряд переваг і недоліків порівняно з апаратами інших типів.

Основними перевагами мокрих пиловловлювачів є:

- невелика вартість і більш висока ефективність;
- можливість використання для очищення газів від частинок розміром до 0,1 мкм;
- можливість очищення газів при високій температурі та підвищеній вологості а також при небезпеці загорянь і вибухів очищених газів і вловлюваного пилу;
- можливість поруч з пилом одночасно вловлювати пароподібні та газоподібні компоненти.

До недоліків мокрих пиловловлювачів відносяться:

- виділення вловлюваного пилу у вигляді шлаку, що зв'язано з необхідністю оброблення стічних вод, тобто з подорожчанням процесу;
- можливість виносу краплин рідини і осадження їх з пилом в газоходах і димососах;

- в разі очищення агресивних газів необхідність захищати апаратуру і комунікації антикорозійними матеріалами.

В мокрих пиловловлювачах як зрошувальна рідина найчастіше використовується вода. Залежно від поверхні контакту чи способу дії згідно з [51] мокрі пиловловлювачі поділяють на 7 типів (табл. 5.1).

Основні технологічні параметри мокрих пиловловлювачів наведені в табл. 5.2.

5.2 Порожнинні газопромивники

В порожнинних газопромивниках запилені гази пропускають через завісу розпилюваної рідини. При цьому частинки пилу захоплюються краплинами промивної рідини і осаджуються в промивачі, а очищені гази видаляються з апарата.

Найбільш розповсюдженим апаратом цього класу є порожнинний форсунковий газопромивник. Він широко застосовується як для очищення газів від достатньо великих частинок пилу (більше 5 мкм), так і для охолодження газів, виконуючи в різних схемах пиловловлювання важливу роль апарата, який забезпечує підготовку (кондиціонування) газів.

Порожнинні форсункові газопромивники (рис. 5.1) – це колони круглого чи прямокутного перерізу, в яких здійснюється контакт між газами і краплинами рідини, розпилюваної форсунками. За направленням руху рідини і газів порожнинні газопромивники поділяються на пряموструминні, протиструминні і з поперечним підведенням рідини. При мокрому знепилюванні звичайно застосовують апарати з протинаправленим рухом газів і рідини, і рідше – з поперечним зрошенням. Прямоструминні порожнинні апарати широко застосовують при випарювальному охолодженні газів.

В протиструминному газопромивнику краплини з форсунок подають назустріч запиленому потоку газів. Вони повинні бути достатньо великими, щоб не бути винесеними газовим потоком, швидкість якого складає від 0,6 до 1,2 м/с. При більших швидкостях газів після газопромивника необхідно встановлювати краплеуловлювач. Форсунки встановлюють в апараті в одному або декількох перерізах: деколи рядами (до 14...16 шт. в перерізі), деколи тільки за віссю апарата.

Факел розпилювання форсунок може бути направлений вертикально зверху вниз або під деяким кутом до горизонтальної площини. При розташуванні форсунок у декілька ярусів можливе комбіноване улаштування розпилювачів: частина факелів направлена за ходом газів, друга частина – в протилежному напрямку. Для кращого розподілення газів у перерізі апарата в нижній частині газопромивника встановлюється газорозподільна решітка.

Таблиця 5.1 – Типи мокрих пиловловлювачів [51]

Тип		Виконання		
Позначення	Найменування	Позначення	Залежно від характеру потоку газу або підведення зрошення	Залежно від особливостей конструкції
1	Порожнистий	А	Прямострумний	–
		В	Протиструмний	
		В	з поперечним зрошенням	
2	Насадковий	А	Прямострумний	з рухомою насадкою
		Б	Протиструмний	з нерухомою насадкою
		В	з поперечним зрошенням	
3	Пінний	А	з безперервним відведенням зрошувальної рідини	–
		Б	з внутрішньою рециркуляцією	–
4	Механічний	–	–	–
5	Ударно-інерційний	А	з безперервним відведенням зрошувальної рідини	з прямокутними контактними каналами
		Б	з внутрішньою рециркуляцією	з кільцевими контактними каналами
6	Відцентровий	А	з тангенціальним відведенням газу	зі зрошуваними стінками
		Б	з внутрішніми направлявальними завихрювачами	з внутрішнім радіальним зрошенням
				зі зрошенням газу на вході
7	Вентурі	А	з форсунковим підведенням зрошення	з круглим, з кільцевим перерізами горловини
		Б	з плівковим підведенням зрошення	
		В	з периферійним підведенням зрошення	

Таблиця 5.2 – Основні параметри мокрих пиловловлювачів [51]

Тип	Продуктивність, м ³ /год, не більше	Швидкість газу в робочому перерізі, м/с	Гідравлічний опір, Па (мм вод. ст.)	Температура газу перед пиловловлювачем, °С	Запиленість газу перед пиловловлювачем, г/м ³ , не більше	Тиск води перед пиловловлювачем, МПа (кгс/м ²)	Питомі витрати зрошувальної рідини, м ³ ·10 ⁻³ води/м ³ газу
1	500000	0,6-6,0	100-1000 (10-100)	827	100	0,15-0,60 (1,5-6,0)	0,5-50,0
2 (з нерухомою насадкою)		1,0-2,5	100-2000 (10-200)		30		1-30
2 (з рухомою насадкою)	100000	2,5-6,0	700-3000 (70-300)	227	50		0,2-20,0
3	150000	10-20	800-2000 (80-200)	425	30	0,15-0,25 (1,5-2,5)	0,1-1,5
4	100000	(15-25)* (400-3000)**	–		10	0,2-0,6 (2-6)	0,2-0,3
5	150000	15-100	1000-4500 (100-450)	425		0,15-0,25 (1,5-2,5)	0,1-1,5
6		4-7	900-2000 (90-200)			0,2-0,6 (2-6)	0,1-1,5
7		30-150	1000-20000 (100-2000)			827	40

* – швидкість газу на вході в пиловловлювач;

** – частота обертів ротора.

При розрахунку порожнинних скруберів визначається площа перерізу S , м^2 і витрати рідини Q_{δ} , кг/с , яка подається на зрошення, за формулами:

$$S=Q/V, \quad (5.1)$$

$$Q_{\delta}=m \cdot Q, \quad (5.2)$$

де Q – кількість очищуваного газу при робочих умовах, $\text{м}^3/\text{с}$;
 V – швидкість руху газів в апараті, м/с (на виході біля 1 м/с);
 m – питомі витрати рідини, кг/м^3 (табл. 5.2); якщо концентрація пилю на вході $c' = 10 \dots 12 \text{ г/м}^3$, то $m = 6 \dots 8 \text{ кг/м}^3$.

Висота порожнинного протиструминного пилопромивника вибирається з умови, що

$$H = 2,5 \cdot D. \quad (5.3)$$

Діаметр D повинен бути таким, щоб забезпечити проходження забрудненого газу через газопромивник. Це визначається площею перерізу (5.1, 5.11).

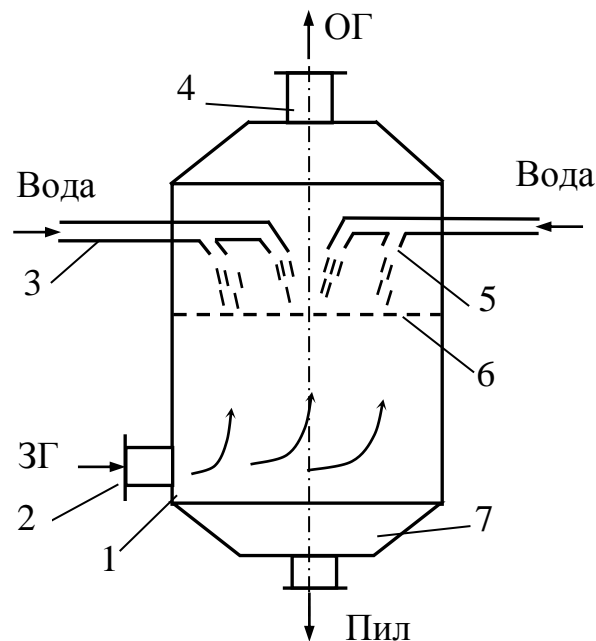


Рисунок 5.1 – Порожнинний форсунковий газопромивник:
 1 – корпус; 2 – патрубок подання запиленого газу; 3 – патрубок подання води; 4 – патрубок відведення очищеного газу; 5 – форсунки; 6 – газорозподільна решітка; 7 – бункер для шламу

5.3 Насадкові газопромивники

Насадкові газопромивники – це колони, заповнені тілами різної форми (рис. 5.2). Як заповнювач (насадка) застосовуються: галька, кокс, кільця з перегородками, кільця Рашіга або Полля, кульки з полімерних матеріалів, скла або пористої гуми. Більш тісний контакт газу, який очищається, з рідиною забезпечує кращу ефективність цих апаратів порівняно з порожнинними газопромивниками.

За напрямом руху газів і рідини насадкові газопромивники поділяються на 3 групи: протиструминні, прямоструминні та з поперечним зрошенням.

Залежно від стану насадки вони бувають з нерухою насадкою і з рухою кульковою насадкою. Апарати з нерухою насадкою знаходять застосування при вловлюванні тонкого пилу у вигляді туманів, добре розчинного пилу, а також при спільному протіканні процесів пиловловлювання, охолодженні газів і абсорбції. Ефективність вловлювання більше 2 мкм перевищує 90%. Недоліком цих апаратів є забруднення каналів, які утворюються елементами насадки, зволоженням пилом, що приводить до різкого збільшення гідравлічного опору і зменшення продуктивності газопромивника.

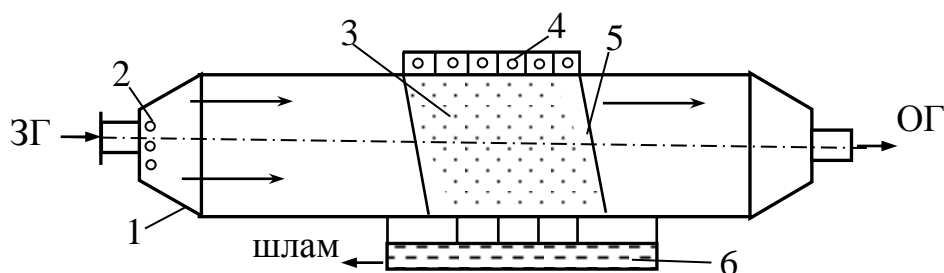


Рисунок 5.2 – Насадковий газопромивник з поперечним зрошенням:
1 – корпус; 2 – форсунки; 3 – насадка; 4 – зрошувальний пристрій;
5 – опорна решітка; 6 – шламозбірник

Апарати з рухою насадкою (рис. 5.3) більш розповсюджені. В них насадка знаходиться в постійному русі, тому пил змивається, а між-елементний простір регулюється напором газу в апараті. Для забезпечення вільного перемішування насадки в газорідинній суміші густина кульок не повинна перевищувати густину рідини. Оптимальними є кульки діаметром 20...40 мм і насипною густиною 100...300 кг/м³; витрати зрошувальної рідини в межах 4...6 кг/м³; гідравлічний опір – 300...1400 Па; продуктивність для газів – 3000...40000 м³/год.

Скрубери з рухою насадкою можуть працювати при різних режимах, але оптимальним для пиловловлювання є режим повного

(розвинутого) псевдозрідження. Швидкість газу V' , м/с, що відповідає початку режиму повного псевдорозрідження, визначається з формули:

$$(V')^2 d_{\epsilon} = \tilde{N} \cdot S_0 \exp[-12,6(Q_p/Q)^{0,25}], \quad (5.4)$$

де d_{ϵ} – діаметр кулькової насадки, м;

S_0 – вільний переріз решітки, $\text{м}^2/\text{м}^2$;

C – коефіцієнт (при ширині щілини в опорній решітці $b = 2\text{мм}$,

$C = 2,8 \cdot 10^4$; при $b > 2\text{ мм}$ $C = 4,5 \cdot 10^4$).

Гранично допустима швидкість газу V'' , м/с, рівна:

$$V'' = 2,9 S_0^{0,4} (Q_p/Q)^{-0,15}. \quad (5.4a)$$

Для забезпечення високого ступеня пиловловлювання рекомендуються такі параметри процесу: швидкість газу – 5...6 м/с; питома зрошення 0,5...0,7 $\text{кг}/\text{м}^3$; вільний переріз решітки $S_0 = 0,4\text{ м}^2/\text{м}^2$ при $b = 4...6\text{ мм}$. При очищенні газів, які вміщують смолисті речовини, а також пил, здатний до утворення відкладень, застосовують щілинні решітки (тарілки) з великою часткою вільного перерізу ($S_0 = 0,5...0,6\text{ м}^2/\text{м}^2$).

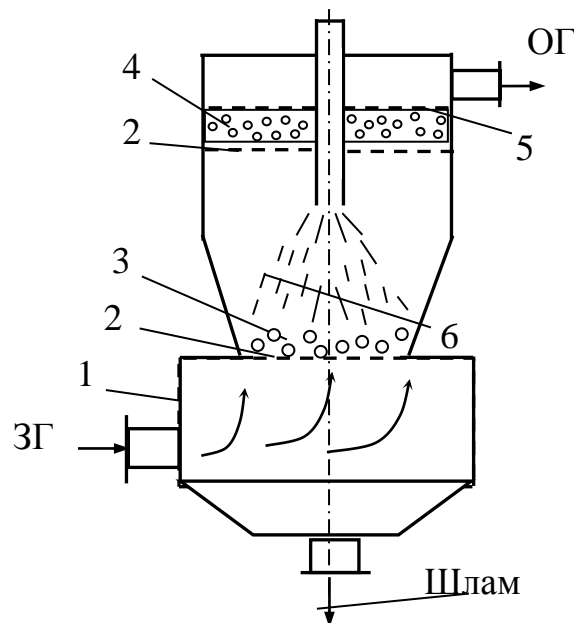


Рисунок 5.3 – Газопромивник з конічним шаром рухомої насадки:

- 1 – корпус; 2 – опорна решітка (тарілка); 3 – шар кульок;
- 4 – бризковловлювач; 5 – обмежувальна решітка; 6 – форсунка;
- 7 – шламозбірник

Вільний переріз обмежувальної решітки складає $0,8...0,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При виборі діаметра кульок необхідно витримувати співвідношення $D/d_{\text{e}} \geq 10$. Оптимальними є кульки діаметром $20...40 \text{ мм}$ і насипною густиною $200...300 \text{ кг/м}^3$. Мінімальна статистична висота шару насадки $H_{\text{нб}}$ складає $5...8$ діаметрів шарів, а максимальна визначається із співвідношення $\dot{V}_{\text{н}}/D \leq 1$.

Висота секції (відстань між решітками) $H_{\text{н}}$, м, складається з динамічної висоти шару псевдозрідженої кулькової насадки $H_{\text{аєі}}$ і висоти сепараційної зони $H_{\text{наі}}$:

$$H_{\text{н}} = H_{\text{аєі}} + H_{\text{наі}}; \quad H_{\text{аєі}} = 0,118 \cdot V_{\text{сб}}^{0,6} \cdot (V/S_0)^{0,93} \quad (5.5)$$

$$H_{\text{наі}} = (0,1...0,2) \cdot H_{\text{аєі}}, \quad (5.6)$$

Загальний гідравлічний опір колони ΔP , Па, розраховується за формулою:

$$\Delta P_{\text{і}} = \Delta P_{\text{ао}} + \Delta P_{\text{аєо}} + \Delta P_{\text{о}} + \Delta P_{\text{о}} + \Delta P_{\text{о}} + \Delta P'_{\text{о}}, \quad (5.7)$$

де $\Delta P_{\text{ао}}$ і $\Delta P_{\text{аєо}}$ – втрати напору при вході та виході газу з апарата, Па;
 $\Delta P_{\text{о}}$ – гідравлічний опір опорної решітки з шаром утримуваної рідини, Па;

$\Delta P_{\text{о}}$ – гідравлічний опір шару сухої насадки, Па;

$\Delta P_{\text{о}}$ – гідравлічний опір рідини, яка утримується шаром насадки, Па;

$\Delta P'_{\text{о}}$ – гідравлічний опір обмежувальної решітки, Па.

Розрахунок $\Delta P_{\text{о}}$ і $\Delta P_{\text{о}}$ виконують за формулами:

$$\Delta P_{\text{о}} = \rho_{\text{о}} \cdot \dot{V}_{\text{нб}} (1 - \varepsilon_0) \quad (5.8)$$

$$\Delta P_{\text{о}} = 1254 \cdot V_{\text{р}}^{0,14} \cdot V^{0,24} \cdot \dot{V}_{\text{нб}}^{0,92} \cdot \rho_{\text{о}}^{-0,1} \quad (5.9)$$

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

ε_0 – пористість нерухомого шару сухої кулькової насадки, приймається рівною $0,4$;

$V_{\text{р}}$ – швидкість зрошуваної рідини в розрахунку на вільний переріз, м/с.

Запорізьким філіалом НДІОГазу і Казахським хіміко-технологічним інститутом розроблена базова модель скрубера з рухомою шаровою

насадкою СДК загальнопромислового призначення з уніфікацією основних елементів. Основні параметри газопромивників серії СДК наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Основні характеристики СДК

Параметри	Марка апарата		
	СДК - 1,2-2- 01	СДК - 1,6-2-01	СДК - 1,4-2-01
Продуктивність, тис. м ³ /год при швидкості газу в перерізі апарата: 4 м/с 7,5 м/с	16 30	32 60	64 120
Розрахункова площа перерізу контактної зони, м ²	1,13	2,0	4,52
Гідравлічний опір апарата, кПа	1,2-3,5	1,2-3,5	1,2-3,5
Розрідження газів всередині апарата, кПа	15,0	15,0	15,0
Концентрація на вході в апарат, г/м ³ , не більше: HF, SiF ₄ (в перерахунку на фтор) пил (аерозоль)	5,0 10,0	5,0 10,0	5,0 10,0
Густина зрошення, м ³ / (м ² год)	25-35	25-35	25-35
Температура газу на вході в апарат, °С, не більше	100-120	100-120	100-120
Температура зовнішньої поверхні, °С	40	40	40
Граничний вміст зависі в оборотному розчині при поданні зрошення через форсунки, г/м ³ , не більше рН, не менше	10 7,0	10 7,0	10 7,0
Ступінь очищення при рН = 7 % від з'єднань фтору від пилу (d ₅₀ > 2 мкм)	97-99 96-99,2	97-99 96-99,2	97-99 96-99,2
Питомі енергетичні витрати, кВт·год/ тис. м ³	1,99	1,99	1,99
Габаритні розміри, мм: діаметр, не менше висота, не більше ширина, не більше маса, кг +/- 20	1200 8300 1900 2300	1600 10520 2600 3850	12600 12600 3600 5700

5.4 Пінні пиловловлювачі

Основним конструктивним елементом пінного пиловловлювача (рис. 5.4, а; 5.4, б) є решітка (тарілка), яка разом з піною на ній служить полицею апарата. Решітки бувають дірчасті, щілинні, трубчасті та колосникові.

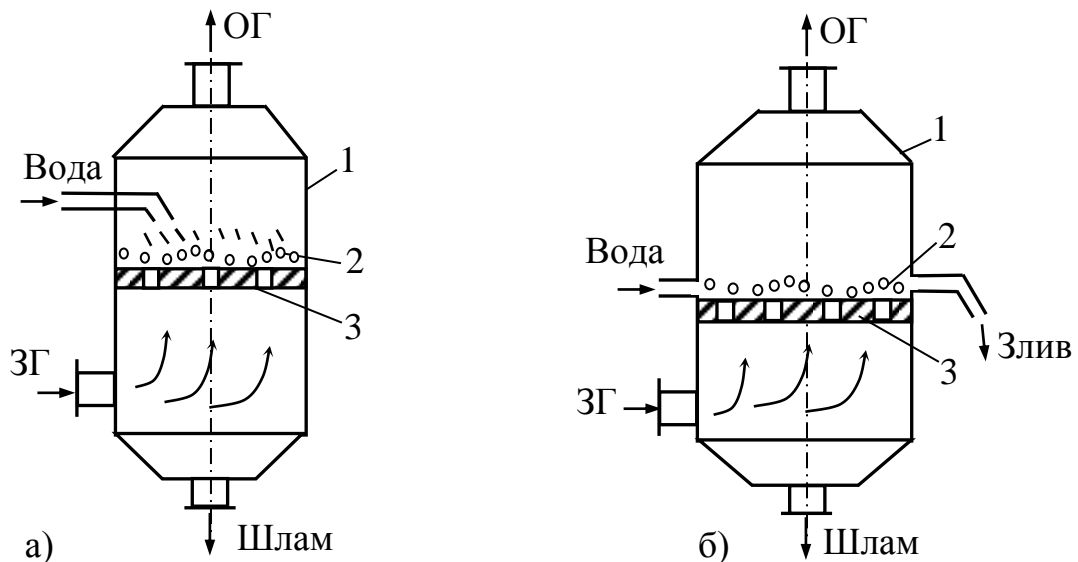


Рисунок 5.4 – Барботажнопінний пиловловлювач з провальною (а) і переливною (б) решітками: 1 – корпус; 2 – шар рідини і піни; 3 – решітка

Існують одно- і багатополічні апарати як з провальними, так і з переливними решітками. В таких апаратах газ на очищення надходить під решітку, проходить крізь отвори в ній і, барботуючи через шар рідини і піни, очищається від частинок пилу за рахунок осадження частинок на внутрішній поверхні газових бульбашок. Режим роботи апаратів залежить від швидкості подання газу під решітку. При швидкості до 1 м/с спостерігається барботажний режим роботи апарата. Подальше збільшення швидкості газу в корпусі апарата до 2...2,5 м/с супроводжується виникненням пінного шару над рідиною, що приводить до підвищення ефективності очищення газу. Вільний переріз решітки складає 0,1...0,4 м²/м² площі перерізу апарата.

Розроблено і освоєно промисловістю 12 типорозмірів пиловловлювача ПАСС марки ПВП (табл. 5.4) діаметром 600...2500 мм, продуктивністю для газу 3...90 тис. м³/год, а також 8 типорозмірів марки АК (з відцентровим стабілізатором-закручувачем).

Залежно від властивостей вловлюваного пилу вони мають швидкість газів $V = 2,5...4,5$ м/с, гідравлічний опір 100...1900Па, питомі витрати рідини 0,6...0,8 кг/м³.

Для очищення аспіраційного повітря і газів від пилу, який не схоплюється у воді, застосовується гідравлічний пиловловлювач ГДП (рис. 5.5), основні технічні характеристики якого наведені в табл. 5.4. Газопромивник є апаратом безперервної дії з внутрішньою циркуляцією рідини і періодичним вивантаженням вловлених продуктів у вигляді шламу чи розчинів.

Таблиця 5.4 – Технічні характеристики газопромивників

Найменування	Марка апарата		
	ГДП-5М	ГДП-7М	ГДП-10М
Продуктивність для газу, м ³ /год	5000	7000	10000
Максимальна температура газу на вході, °С	250	250	250
Максимальний гідравлічний опір, Па	1800	1800	1800
Запиленість газів на вході, г/м ³	до 30	до 30	до 30
Питоме зрошення, л/м ³	0,015-0,05	0,015-0,05	0,015-0,05
Діаметр апарата, м	1,0	1,25	1,5
Висота апарата, м	2,9	3,2	3,65
Маса в робочому стані, кг	1000	1560	2200

Запилений газ спочатку надходить в простір під решіткою, захоплює частину рідини, а потім, пройшовши отвори решітки зі швидкістю 10...12 м/с, контактує з шаром турбулізованої піни. Для забезпечення рівномірного розподілення газу у вільному перерізі решітки її отвори виконані зі збільшенням діаметра з віддаленням отворів від вхідного патрубку.

Очищений від пилу газ проходить через краплевіддільник і через вихідний патрубок відводиться в атмосферу. Вловлений пил у вигляді шламу осаджується в бункерній частині й через вивантажувальний пристрій періодично видаляється з апарата.

При виборі та розрахунку пінного апарата враховуються витрати активного газу, властивості вловлюваного пилу і умови, необхідні для створення стійкої роботи пінного шару в пиловловлювачі.

Площа перерізу апарата S , м², знаходиться за формулою:

$$S = Q/3600 \cdot V. \quad (5.10)$$

Діаметр корпусу апарата D розраховуємо за формулою:

$$D = \sqrt{4S/\pi}. \quad (5.11)$$

Лінійну швидкість газу приймаємо, виходячи з умов оптимального режиму роботи пиловловлювача (в даному випадку $V = 3$ м/с). При більшій швидкості контакту систему оснащують системою подвійної стабілізації піни.

Витрати рідини на зрошення Q_p , м³/год, будуть складати

$$Q_p = q_p \cdot S, \quad (5.12)$$

де q_p – густина зрошення (для середньо розчинних газів $q_p = 10 \dots 25$ м³/(м²·год) ; для погано розчинних газів $q_p \leq 100$ м³/(м²·год).

Знаходимо число решіток N , шт., в апараті

$$N = Q/S \cdot H_n, \quad (5.13)$$

де H_n – рекомендована висота пінного шару на кожній решітці апарата (приймається 400...500 мм).

Відстань (крок) між отворами l , м, решітки

- при ромбічному розбитті (симетричне розміщення отворів на решітці)

$$l = d_0 \sqrt{0,091/S_0}, \quad (5.14)$$

- при рядковому і квадратному

$$l = d_0 \sqrt{0,8/S_0}, \quad (5.15)$$

де d_0 – діаметр отворів в решітці, приймається рівним 4...8 мм;

S_0 – вільний переріз решітки, м²/м².

S_0 визначаємо з емпіричної залежності

$$S_0 = 12 \cdot V^{0,35} \cdot q_p^{0,16} \cdot d_e^{0,37} \cdot \rho_p^{-0,58}, \quad (5.15a)$$

де d_e – еквівалентний діаметр отворів в решітці.

При виготовленні решіток з окремих пластин відстань між квадратними отворами

$$l = d_e \sqrt{S_0}. \quad (5.16)$$

Ширина пластин або відстані b , м, між краями отворів

$$b = 1 - d_0. \quad (5.17)$$

Загальний гідравлічний опір ΔP , Па, пінного апарата визначається за формулою

$$\Delta P = \Delta P_{\text{дн}} + \Delta P_{\phi} + \Delta P_{\text{аі}} + \Delta P_G, \quad (5.18)$$

де $\Delta P_{\text{дн}}$, ΔP_{ϕ} , $\Delta P_{\text{аі}}$, ΔP_G – гідравлічні опори відповідно сухої решітки, шару піни, корпусу апарата і опір силам поверхневого натягнення рідини.

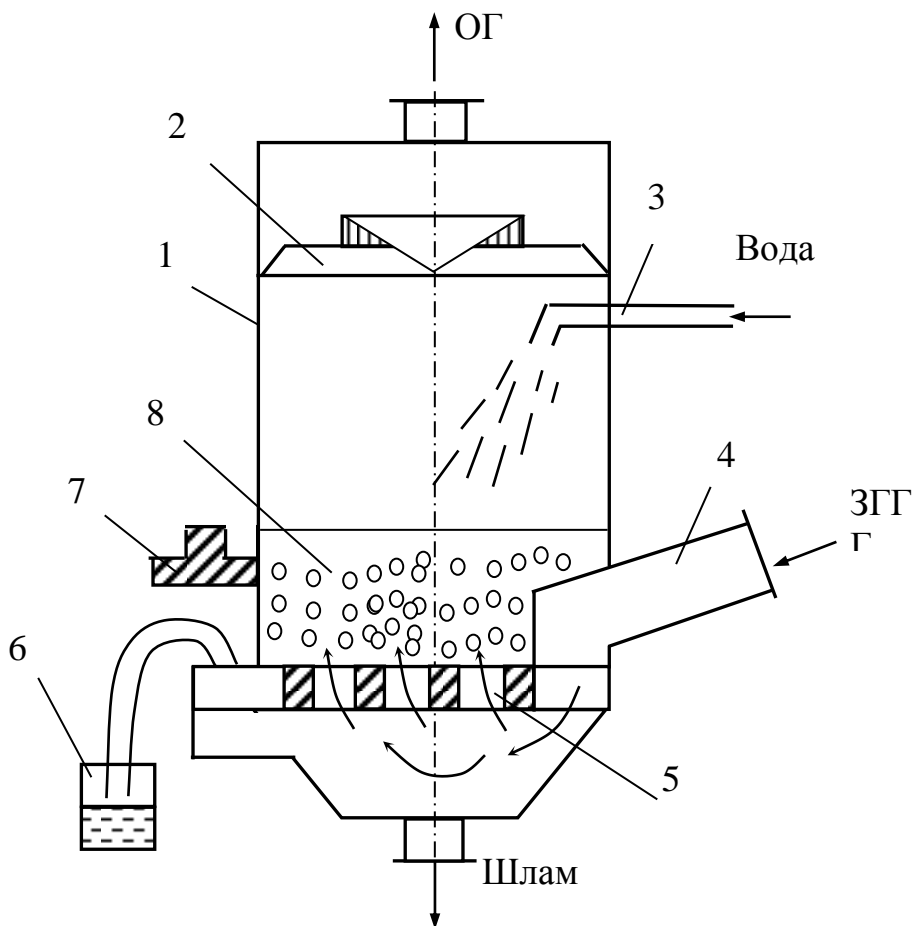


Рисунок 5.5 – Газопромивник типу ГДП-М:

- 1 – корпус; 2 – відцентровий краплеуловлювач; 3 – патрубок для підливання води; 4 – патрубок вхідний для газу; 5 – тарілка; 6 – гідрозатвор; 7 – регулятор рівня води; 8 – шар турбульованої піни

Таблиця 5.5 – Технічні характеристики газопромивників типу ПВПР

Найменування	Марка апарата											
	ПВПР-3	ПВПР-4	ПВПР-5	ПВПР-7	ПВПР-9	ПВПР-12	ПВПР-17	ПВПР-22	ПВПР-30	ПВПР-41	ПВПР-55	ПВПР-80
Продуктивність за газом, м ³ /год	2500-3400	3400-4500	4500-6200	6200-7500	7500-10000	10000-15000	15000-18700	18700-24000	24000-32600	32600-45700	45700-64000	64000-90000
Основні розміри, мм:												
Д	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2200	2600	3000
Д ₁	500	600	700	700	800	1000	1200	1400	1600	1800	2200	2400
Д ₂	300	350	400	500	500	600	600	600	800	1000	1200	1200
Н	3890	4245	4550	5125	5685	6835	7380	7855	9330	10990	12100	13520
Н*	3190	3645	3950	4525	5085	5835	6380	6855	8330	9790	10900	12320
Маса, кг	725	915	1120	1335	1570	2640	3200	3810	6440	8370	11340	13090

Н* – висота апарата з однією тарілкою (без середньої секції)

Гідравлічний опір сухої решітки $\Delta P_{\text{дн}}$, Па, знаходиться за формулою (при $S_0 \geq 0,18 \text{ м}^2/\text{м}^2$)

$$\Delta P_{\text{pc}} = \frac{\xi_{\text{p}} \cdot \rho \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot S_0^2}, \quad (5.19)$$

де ξ_{p} – коефіцієнт місцевого опору решітки, приймається рівним 1,45 для дрібнодірчастої і великодірчастої решіток.

Для трубчастої решітки цей коефіцієнт залежить від ширини щілини $b_{\text{ш}}$ і зовнішнього діаметра труб $d_{\text{дн}}$

$$\xi_{\text{д}} = 0,225 \cdot d_{\text{дн}}^{0,25} \cdot b_{\text{ш}}^{-0,35}. \quad (5.20)$$

Гідравлічний опір шару піни знаходиться за такими формулами:
- для дрібнодірчастої решітки

$$\Delta P_{\text{р}} = 4,38 \cdot \dot{I}_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{р}} \cdot V^{-0,5}; \quad (5.21)$$

- для трубчастої решітки

$$\Delta P_{\text{р}} = 4,1 \cdot \dot{I}_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{р}} \cdot V^{-0,5}; \quad (5.22)$$

- для великодірчастої решітки

$$\Delta P_{\text{р}} = 3,97 \cdot \dot{I}_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{р}} \cdot V^{-0,5}. \quad (5.23)$$

Гідравлічний опір на подолання сил поверхневого натягання рідини $\Delta P_{\text{Г}}$, Па, визначається за формулами:

- для дірчастої решітки

$$\Delta P_{\text{Г}} = 4G/d_0; \quad (5.24)$$

- для трубчастої решітки

$$\Delta P_{\text{Г}} = 2G/b_{\text{ш}}, \quad (5.25)$$

де G – поверхневе натягнення (для води при температурі $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ $G=6.3 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}$).

Гідравлічний опір на подолання сил поверхневого натягнення для великодірчастої решітки незначний і ним можна знехтувати. Гідравлічний опір корпусу апарата ΔP_a , Па, рівний

$$\Delta P_a = \xi_a \cdot V^2 \cdot \rho / 2, \quad (5.26)$$

де ξ_a – коефіцієнт місцевого опору апарата, віднесений до швидкості газу в повному перерізі, рівний 15 для апарата без краплеуловлювача і 28 для апарата з влаштованим жалюзійним краплеуловлювачем.

Таким чином, загальний гідравлічний опір протиструминних апаратів з великодірчастими решітками при $S_0 \geq 0,18 \text{ м}^2/\text{м}^2$ розраховується за формулою :

$$\Delta P = \frac{\xi_{\delta} \cdot \rho \cdot V^2}{2g \cdot S_0^2} + 3.97 H_i \cdot \rho_{\delta} \cdot V^{-0.5} + \xi_a \cdot \rho \cdot V^2 / 2. \quad (5.27)$$

Фракційна ефективність пиловловлювання $\eta_{\delta\delta}$, %, пилу

$$\eta_{\delta\delta} = 100 \left[1 - 5 \cdot 10^{-3} - \left[\frac{(1.28 - d_e^{0.08})}{(A^{0.8} \cdot V^{0.85})} \right] \right], \quad (5.28)$$

де \dot{A} – поверхня контакту фаз, віднесена до 1 м² решітки:

$$\dot{A} = 19,6 \cdot 10^3 \cdot V^{1.35} \cdot q_p^{0.5} \cdot S_0^{-2.47} \cdot d_e^{0.8} \cdot \rho_p^{-1.25}. \quad (5.29)$$

Загальна ефективність пиловловлювання в апараті

$$\eta = \sum_{i=1}^{i=n} (\Delta j_i / 100) \cdot r_i \cdot \Phi_s. \quad (5.30)$$

5.5 Механічні газопромивники

Характерною особливістю механічних газопромивників є наявність обертового пристрою (ротора, диска тощо), який забезпечує розбризкування і перемішування рідини або крутіння газового потоку. Залежно від способу підведення механічної енергії апарати цього типу поділяються на механічні газопромивачі та динамічні газопромивачі. В механічних газопромивниках очищувані гази стикаються з рідиною, розбризкуваною за допомогою обертового тіла (весла з лопатками, перфорованого барабана, дисків тощо). Апарати цього типу в наш час практично не застосовуються для очищення газів від пилу.

У динамічних газопромивниках механічна енергія, яка підводиться додатково, служить для крутіння газового потоку. Вони відрізняються від сухих динамічних пиловловлювачів (див. рис. 2.8) тільки підведенням зрошувальної рідини, яка сприяє збільшенню їх ефективності. Воду у вентилятор подають за допомогою форсунок, розташованих перед його всмоктувальним отвором. Цей захід часто застосовується на практиці, коли для підвищення ефективності системи пиловловлювання, а також для попередження утворення відкладень вода подається в димосос, що забезпечує протягування газів через апарати газоочищення.

При розрахунках енергетичних затрат на очищення газів у механічних газопромивниках необхідно враховувати додаткові витрати енергії на обертання розбризкувальних пристроїв. У механічних газопромивниках ці додаткові витрати енергії можуть бути значні, причому необхідно враховувати, що не вся енергія обертання є корисною: більша частина її втрачається в приводних пристроях і витрачається на тертя рухомих частин. При розрахунку витрат енергії на очищення газів в динамічних газопромивниках із загальних енергетичних витрат необхідно віднімати ту частину енергії, яка витрачається на відсмоктування і транспортування очищених газів.

5.6 Ударно-інерційні газопромивники

До апаратів ударно-інерційної дії відноситься велика група мокрих газопромивників, в яких контакт газу з рідиною здійснюється за рахунок удару газового потоку в поверхню рідини з наступним пропусканням газорідинної суспензії через отвори різної конфігурації. Внаслідок такої взаємодії утворюються краплини діаметром 300...400 мкм. Особливістю апаратів ударної дії є повна відсутність засобів перемішування рідини, і тому вся енергія, необхідна для утворення поверхні контакту, підводиться через газовий потік.

Серед мокрих газопромивників цього типу можна виділити два найбільш розповсюджених в промисловості апарати: статичний ротоклон і скруббер Дойля (рис. 5.6).

Важливе значення для нормальної роботи цих апаратів має підтримка постійного рівня рідини в них. Навіть незначна зміна рівня рідини може привести до різкого зниження ефективності або ж значного збільшення гідравлічного опору. Вода в кількості не більше $0,03 \text{ кг/м}^3$ подається тільки для компенсації їх витрат за рахунок випаровування і виносу зі шламом.

В статичному ротоклоні типу N встановлені один або декілька зігнутих щільних каналів, нижня частина яких затоплена рідиною. Газовий потік, ударяючись об поверхню рідини, захоплює частину рідини і примушує її рухатися вздовж нижньої напрямної каналу. Потім рідина

відкидається до верхньої напрямної і при виході з щілини падає у вигляді суцільної водяної завіси. Для запобігання виносу краплин газу після каналу проходять через систему краплевідбивних пристроїв. Швидкість газів в каналі звичайно не перевищує 15 м/с.

Розроблено декілька конструкцій ротоклонів.

Продуктивність ротоклона конструкції Гіпротязмаша 10...40 тис. м³/год. Температура газів, які поступають на очищення до 280°C. Максимальні втрати тиску в ротоклоні відповідні максимальній швидкості повітря 25 м/с, 1900 Па; витрати води до 0,5 м³/год; максимальний об'єм води, яка заливається в ротоклон, 6,5 м³. Злиплий на дні шлам видаляється скребковим транспортером в короб або безпосередньо в шламівідвідник.

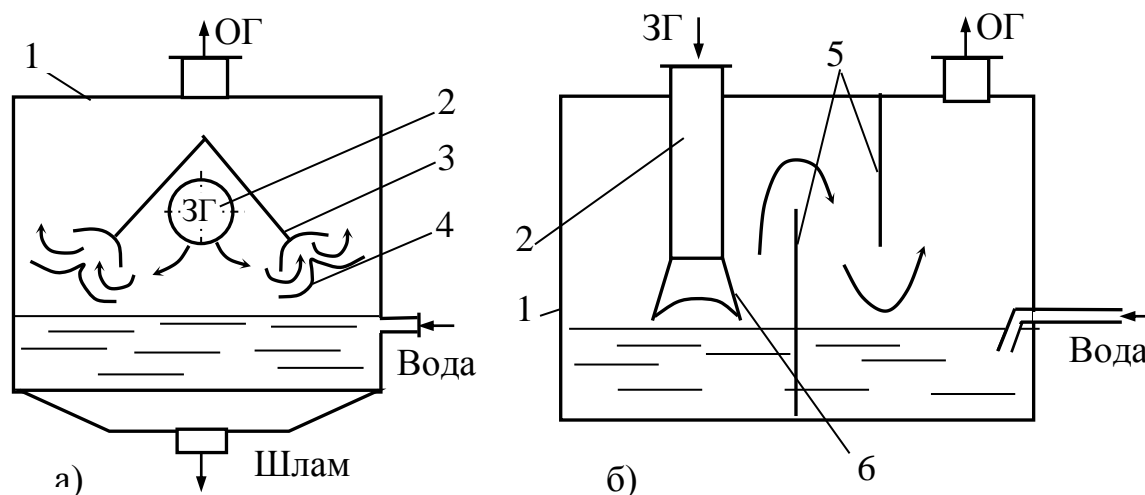


Рисунок 5.6 – Пиловловлювачі ударно-інерційної дії:

- а) статичний ротоклон; б) скруббер Дойля; 1 – корпус;
 2 – пристрій для підведення забрудненого газу; 3 – напрямні лопатки;
 4 – краплевідбійник; 5 – перегородки; 6 – конус

Ротоклон „Урал” застосовується при очищенні газів, відсмоктувальних від млинів, дробарок, сушарок, сталеплавильних печей, вуглебагачувальних машин, котлоагрегатів, травильних і цинкувальних ванн тощо. Витрати газу 10...15 тис. м³/год при втраті тиску 1600 Па, якщо частинки пилу мають розмір 5 мкм; 35 тис. м³/год – при втратах тиску 3000... 15000 Па, якщо проводиться тонке очищення дрібнодисперсного пилу. Витрати води змінюються в межах 0,001...30 л/м³. Ефективність очищення газу досягає 99%. Температура газів допускається 400°C.

У скрубєрі Дойля газовий потік надходить через труби, в нижній частині яких установлені конуси, які збільшують швидкість газів у вільному перерізі труби. Швидкість газів безпосередньо в щілині на виході з труби складає 35...55 м/с і газовий потік з достатньо великою швидкістю ударяється об поверхню рідини, утворюючи завісу з краплин. Рівень

рідини в скрубєрі (у статичному стані) на 2...3 мм нижче кромки труби. Гідравлічний опір газопромивника залежно від швидкості витікання складає 400... 500 Па, питомі витрати рідин складають біля 0,13 л/м³.

Розроблена конструкція пиловловлювача ПВМ з простішим за конфігурацією каналом (рис. 5.7) для очищення газів від середньо- і дрібнодисперсного пилу складається з двосекційного корпусу, нижня частина якого заповнена водою. У середині корпусу розташовані нерухомі та рухомі контактні перегородки, які переміщуються відповідно до висоти підтримуваного рівня води. До нерухомих перегородок прикріплені крапельвідбивники, а у верхній частині апарата розташований краплиновловлювач з пакета зігнутих пластинок.

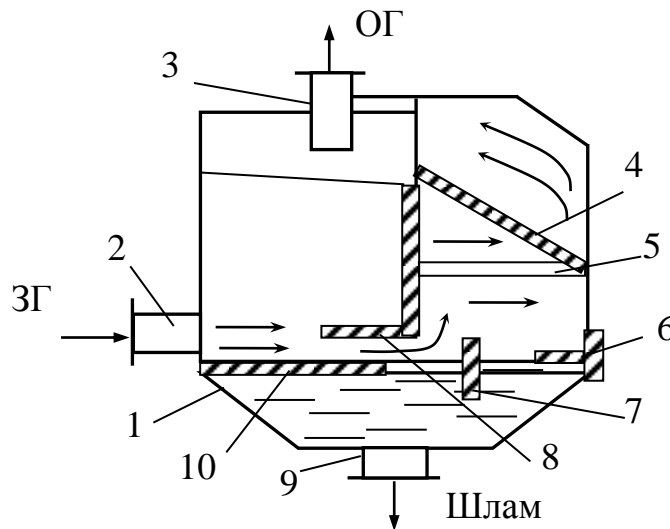


Рисунок 5.7 – Схема пиловловлювача типу ПВМ:

- 1 – корпус; 2 – вхідний патрубок; 3 – вентильатор;
 4 – крапельувловлювач; 5 – верхня перегородка; 6 – пристрій для підтримування рівня води; 7 – нижня перегородка; 8 – нерухома перегородка; 9 – зливний патрубок; 10 – рухома перегородка

Забруднені газі надходять в апарат через вхідний патрубок у верхній секції корпусу. При вмиканні вентильатора змінюється рівень води за перегородками. В утворену між поверхнею води і нижньою кромкою нерухомої перегородки щілину з великою швидкістю спрямовується газовий потік частково захоплюючи з собою воду. Частинки пилу, сепаровані з газового потоку, осаджуються на поверхні перегородок, змочених водою.

Вода відводиться крапельвідбивником і зливається у крайній відсік. Очищені від пилу газі проходять через крапельувловлювач і викидаються назовні вентильатором.

Вловлений пил осідає в бункер пиловловлювача і видаляється при зливі шламу, за способом виведення якого з апарата розрізняють три модифікації мокрих пиловловлювачів типу ПВМ:

- в пиловловлювачах ПВМСА шлам видаляється через затвор зливного штуцера, розташованого на дні бункера (витрати води біля 50 кг на 1 г вловленого пилу);

- в пиловловлювачах ПВМБК шлам видаляється з дна бункера скребковим транспортером (витрати води біля 5 г на 1 м³ очищувального газу);

- в пиловловлювачах ПШБ плавальний пил (волокна) зливається через кармани, з'єднані з внутрішньою порожниною апарата повздовжніми щілинами. Важкі частинки пилу осаджуються в бункері й періодично вивантажуються через запірний засув (витрати води від 10 до 40 г на 1 м³ очищувального газу).

Гідравлічний опір у пиловловлювачах типу ПВМ складає 800...2000 Па, концентрація шкідливих компонентів на вході – не більше 10 г/м³.

Умовні позначення типорозміру пиловловлювачів: П – пиловловлювач; В – вентиляційний; М – мокрий; цифра – продуктивність для повітря (тис. м³/год); буква після цифри – спосіб виведення шламу з апарата; К – конвеєрний; С – зливний; останні букви А, Б – модифікація.

Технічна характеристика типорозмірів пиловловлювачів ПВМ наведена в табл. 5.6

Таблиця 5.6 – Технічна характеристика пиловловлювачів типу ПВМ

Типорозмір пиловловлювача	Продуктивність, м ³ /год	Тип і номер встановленого вентилятора	Об'єм води в бункері пиловловлювача, м ³	Маса (без води і вентиляційного агрегату), кг
ПВМ 3 СА	3000	ВЦ 14-46 № 2,5-01	0,7	747
ПВМ 5 СА	5000	ВЦ 7-40 № 5-06	1,2	1200
ПВМ 10 СА	10000	ВЦ 7-40 № 6-06	1,45	2610
ПВМ 20 СА	20000	ВЦ 6-45 № 8-06	2,2	2625
ПВМ 40 СА	40000	ВЦ 4-76 № 10-06	5,5	3750
ПВМ 5 КБ	5000	ВЦ 7-50 № 5-06	1,2	1265
ПВМ 10 КБ	10000	ВЦ 7-40 № 6-06	2,3	1828
ПВМ 20 КБ	20000	ВЦ 6-45 № 8-06	3,0	2005
ПВМ 40 КБ	40000	ВЦ 4-76 № 10-06	5,8	3932
ПВМ 10 Б	10000	ВЦ 7-40 № 6-06	1,45	1520
ПВМ 20 Б	20000	ВЦ 6-45 № 8-06	2,2	2320
ПВМ 40 Б	40000	ВЦ 4-76 № 10-06	5,5	4150

5.7 Газопромивники (скрубери) відцентрової дії

Принцип використання відцентрової сили для вловлювання частинок пилу, який широко застосовується в циклонах, знайшов застосування і в цілому ряді мокрих апаратів.

До мокрих відцентрових пиловловлювачів необхідно віднести і циклон з мокрою плівкою. Зрошення внутрішніх стінок циклона перешкоджає вторинному виносу осілих на них частинок пилу.

Крім циклонів з мокрою плівкою відомі інші конструкції мокрих відцентрових пиловловлювачів, які звичайно називають мокрими відцентровими скруберами. Ефективність пиловловлювання цих апаратів вища, ніж звичайних циклонів, за рахунок збільшення відносної швидкості краплин і газового потоку, яка досягається при використанні відцентрових сил обертОВОГО газового потоку.

Відцентрові скрубери, які застосовуються на практиці, конструктивно можна поділити на два види:

- апарати з тангенціальним підведенням газів (рис. 5.8);
- апарати, в яких закручування газового потоку здійснюється за допомогою спеціальних напрямних лопаток (рис. 5.9).

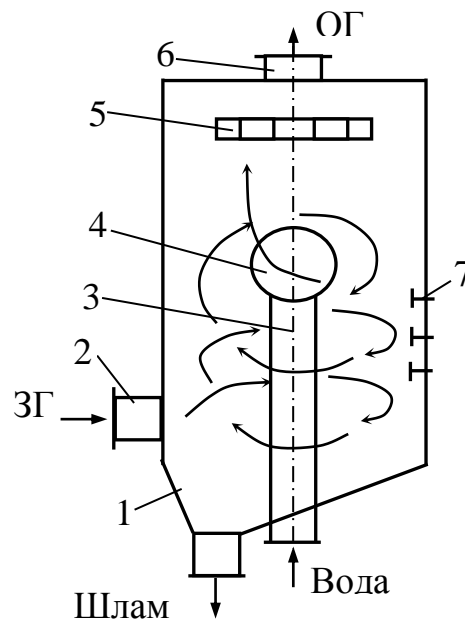


Рисунок 5.8 – Відцентровий скрубер з тангенціальним підведенням газів:

- 1 – корпус; 2 – штуцер у вигляді завитка для тангенціального підведення запиленого газу; 3 – патрубок з системою зрошення для подачі води; 4 – центральний диск; 5 – лопатки для вирівнювання потоку; 6 – патрубок для відведення очищеного газу; 7 – форсунки для зрошення стінок скрубера

Над форсунками у відцентрових скруберах знаходиться вільна від подачі води зона, яка дає можливість краплинам досягнути стінок апарата перш ніж газовий потік вийде з нього. Таким чином, відцентрові сили дозволяють різко зменшити винесення рідини з апарата.

В апаратах з тангенціальним підведенням газів швидкість газового потоку на вході може досягати 60 м/с; швидкість очищувальних газів в перерізі скрубера звичайно складає 1,2...2,4 м/с; гідравлічний опір апарата 500...1500 кПа, а витрати води на очищення газів – 0,4...1,3 л/м³. Для вловлювання бризок над форсунками встановлюють дисковий бризковідбійник. Вирівнювання газового потоку на виході зі скрубера здійснюється лопатковим розкручувачем. При розмірах завислих частинок більше 1 мкм ступінь очищення газів в апаратах може досягати 97% і більше.

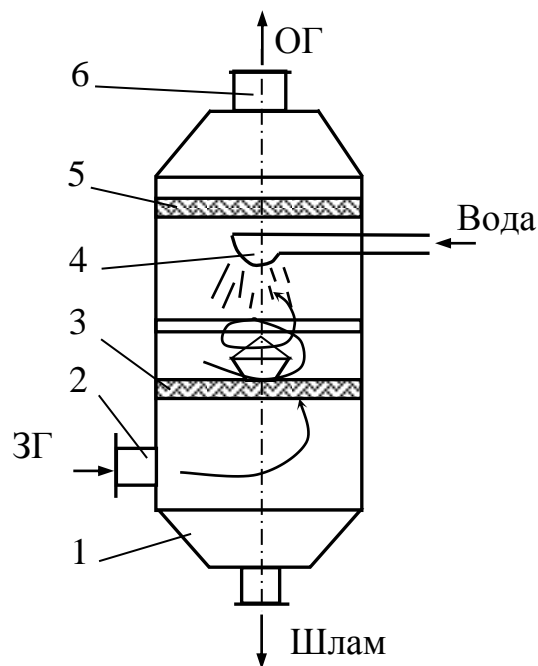


Рисунок 5.9 – Відцентровий скрубер з внутрішніми завихрювачами;
 1 – корпус; 2 – штуцер підведення запыленого газу; 3 – завихрювач для створення тангенціального руху газів; 4 – зрошувач;
 5 – розкручувач для вирівнювання газового потоку; 6 – патрубок для відведення очищеного газу

Підведення зрошувальної рідини в такі скрубери може здійснюватися за допомогою форсунок, розташованих вздовж стінок апарата (рис. 5.10). Подача води, в такому випадку, в кількості 0,7 л/м³ газів здійснюється під тиском від 0,7 до 3 МПа, причому біля 40% краплин рідини приходить на ту частину скрубера, де вводиться газовий потік. Форсунки високого тиску з малими отворами витікання потребують підведення добре очищеної від домішок рідини. Гідравлічний опір апарата складає від 300 до 600 Па.

В апаратах з внутрішніми завихрювачами (рис. 5.9) запилений газ через тангенціально розташований вхідний патрубок надходить в нижню камеру, де під дією відцентрових сил видаляються найбільш великі частинки пилу. Між лопатками завихрювача, зрошеного водою, швидкість потоку збільшується. Частинки пилу, ударяючись об зволожені поверхні та стикаючись з краплинами води, видаляються з потоку. Для зменшення виносу рідини на скрубери встановлений пакет відбивних перегородок. Для видалення дрібних частинок пилу застосовуються апарати з багатоярусним розташуванням закручувальних лопаток. При цьому лопатки суміжних рядів направлені в протилежні сторони. Питомі витрати води в однорядних пиловловлювачах складають 0,25 л/м³, гідравлічний опір 200...700 Па. В скруберах з багаторядним розташуванням закручувальних лопаток гідравлічний опір і питомі витрати води збільшуються.

Більшість скруберів, які застосовуються в промисловості, мають тангенціальне підведення газів і плівкове зрошення. Типовими представниками таких скруберів відповідно є швидкісні газопромивачі СІОТ і циклони з водяною плівкою ЦВП.

Скрубери СІОТ, технічна характеристика яких наведена в табл. 5.7, застосовуються для вловлювання змочуваного пилу (за винятком волокнистого і цементного пилу) при початковій концентрації до 5 г/м³.

Таблиця 5.7 – Технічна характеристика газопромивників в (скруберів) конструкції СІОТ

Показники	Номер газопромивника								
	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Продуктивність, тис. м ³ /год, при вхідній швидкості, м/с:									
14	12,5	17,5	25	35	50	75	100	140	200
20	17,5	25	35	50	75	100	140	200	280
Діаметр вхідного патрубка, мм	560	665	790	940	1120	1330	1580	1880	2240
Внутрішній діаметр апарата, мм	1344	1596	1896	2256	2688	3192	3792	4512	5400
Витрати води (максимальні), м ³ /год	2,0	2,8	3,9	5,5	7,7	11,0	15,5	22	31

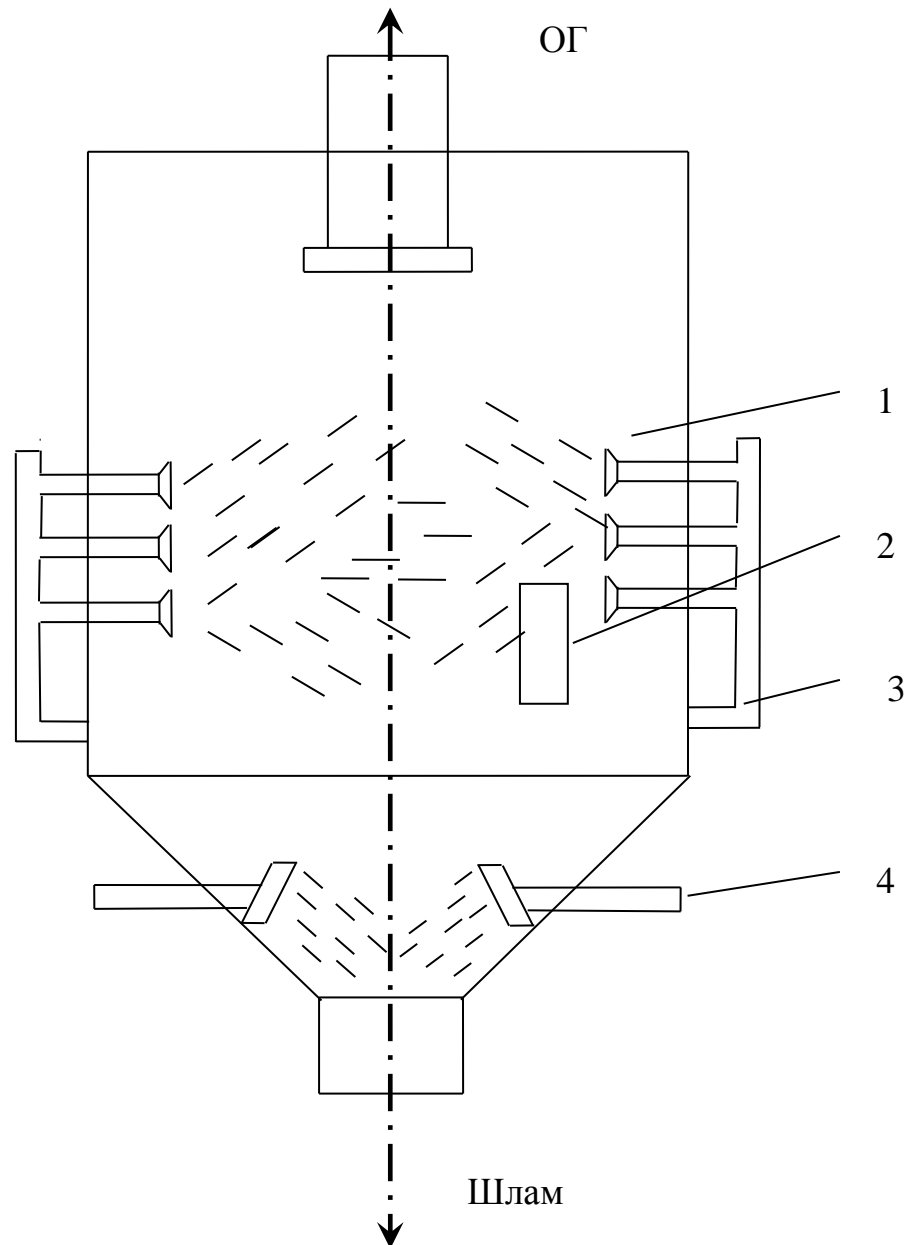


Рисунок 5.10 – Відцентровий скрубєр з боковим розташуванням форсунк:
 1 – форсунка; 2 – пристрій для введення газів; 3 – водяний контактор;
 4 – форсунка для зрошення стінок бункера

Циклони з водяною плівкою ЦВП застосовуються для очищення запиленого повітря від будь-якого нецементного пилу. При вмісті пилу понад 2 г/м^3 рекомендується доочищення в циклоні з водяною плівкою, а попереднє очищення газів в апараті іншого типу.

Для мокрого очищення нетоксичних і вибухонебезпечних газів від пилу застосовують відцентровий скрубєр СЦВБ – 20 батарейного типу, технічні характеристики якого наведені в табл. 5.8.

Таблиця 5.8 – Технічні характеристики газозловлювача (скрубера)
СЦВБ – 20

Показники	
Продуктивність для газу, м ³ /год	20000
Ефективність очищення (для частинок розміром 10 мкм), %	98
Максимальна температура газів, °С	60
Гідравлічний опір, Па	1700
Допустима вхідна концентрація, г/м ³	не більше 10
Клас пиловловлювача	II
Група пилу за ГОСТ 12.2.043—80	II-У

5.8 Швидкісні газопромивники (скрубери Вентурі)

Швидкісні газопромивники застосовуються, головним чином, для очищення газів від мікронного і субмікронного пилу. Принцип дії цих апаратів заснований на інтенсивному дробленні газовим потоком, який рухається з великою швидкістю (біля 60...150 м/с), зрошувальної його рідини. Осадженню частинок пилу на краплинках зрошувальної рідини сприяє турбулентність газового потоку і високі відносні швидкості між вловленими частинками пилу і краплинками.

До швидкісних газопромивників відносяться скрубери Вентурі, діафрагмові (дросельні) та з рухомим дисковим шібером (рис. 5.11). Всі вищеперераховані апарати характеризуються високим ступенем очищення, великими гідравлічними витратами і необхідністю влаштування краплеуловлювача (частіше всього циклонного типу).

Найбільш розповсюдженим апаратом цього класу є скрубер Вентурі, найефективніший з мокрих пиловловлювачів, які застосовуються в промисловості.

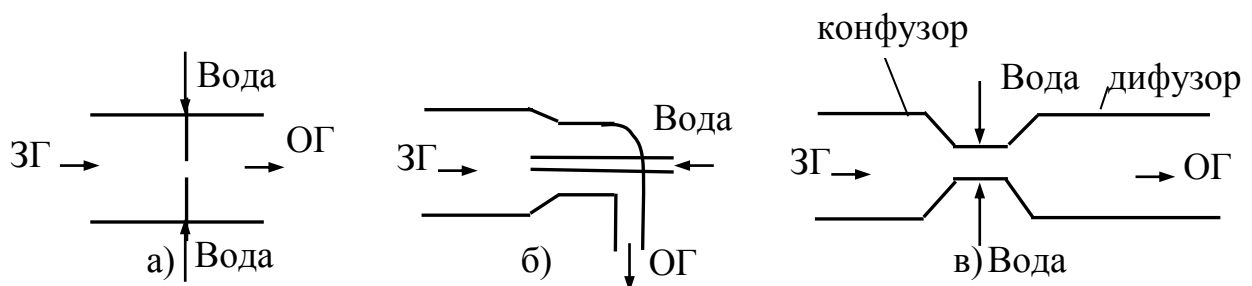


Рисунок 5.11 – Швидкісні газопромивники:
а) – діафрагмовий; б) – з рухомим дисковим шібером; в) – Вентурі.

Основна частина скрубера Вентурі, з метою зниження шкідливих гідравлічних втрат, виконується у вигляді труби Вентурі, яка має плавне звуження на вході газів (конфузор) і плавне розширення на його виході (дифузор). Вузька частина труби Вентурі називається горловиною.

Існує велика кількість конструкцій скруберів Вентурі, які відрізняються перерізом і довжиною горловини, способом підведення зрошувальної рідини, компоновкою тощо. За конфігурацією поперечного перерізу труби Вентурі поділяються на круглі, щілинні та кільцеві. Круглі труби Вентурі мають переважно розповсюдження при малих об'ємах очищувальних газів. При великих об'ємах газів доцільно застосовувати труби Вентурі з кільцевою горловиною і центральним підведенням зрошення або щілинні труби Вентурі з плівковим зрошенням.

Деколи при великих об'ємах очищуваних газів застосовують батареї або групові компоновки скруберів. Перевагою цього методу є можливість відключення частини труб при змінних витратах газу, тобто ступеневого регулювання. Проте питання регулювання може вирішуватися також з допомогою труб зі змінним перерізом горловини, повертанням частини очищених газів в систему очищення і зміною питомого зрошення.

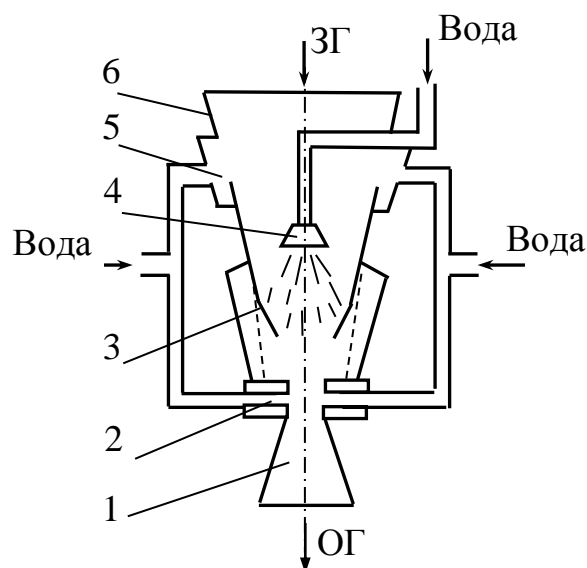


Рисунок 5.12 – Труба Вентурі з регульованим перерізом щілинної горловини:

- 1 – дифузор; 2 – форсунки нижнього ярусу зрошення;
- 3 – регульовальні лопатки; 4 – форсунка; 5 – кишеньчасте плівкове зрошення;
- 6 – конфузор

Найбільш розповсюджені конструкції скруберів Вентурі з регульованим перерізом горловини. Промислове використання знайшли дві конструкції: труба Вентурі щілинного перерізу (рис. 5.12), в якій регулювання площі горловини здійснюється за допомогою поворотних заслінок, і труба Вентурі кільцевого перерізу (рис. 5.13), в якій вздовж осі переміщується

регулювальний конус. Друга конструкція є надійнішою, тому що в ній регулювальний механізм винесений із зони контакту з запиленим газом. Технічні характеристики таких скрубєрів Вентурі наведені в табл. 5.9.

За гідравлічними характеристикам скрубєри Вентурі можна умовно поділити на високонапірні та низьконапірні. Перші застосовуються для тонкого очищення газів від мікронного і субмікронного пилу і характеризуються високим гідравлічним опором (до 20...30 кПа). Технічні характеристики високонапірних скрубєрів Вентурі наведені в табл. 5.10.

Низьконапірні скрубєри Вентурі використовуються, головним чином, для підготовки (кондиціонування) газів перед другими пиловловлювачами і для очищення аспіраційного повітря; їх гідравлічний опір не перевищує 3...5 кПа. Для роботи в низьконапірному режимі деколи застосовують труби Вентурі з продовженими горловинами. В цьому випадку процеси охолодження газів протікають глибше.

Залежно від способу підведення зрошувальної рідини можна виділити такі основні типи апаратів:

- з центральним (форсунковим) підведенням рідини в конфузори чи перед ним;
- з периферійним зрошенням в конфузори чи в горловині;
- з плівковим зрошенням;
- з підведенням рідини за рахунок енергії газового потоку.

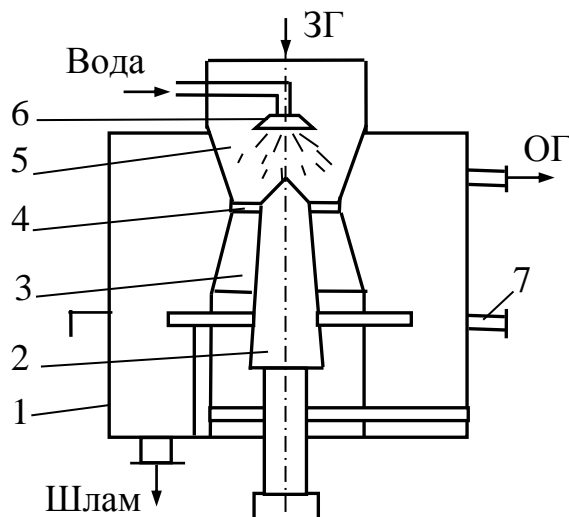


Рисунок 5.13 – Труба Вентурі з регульованим перерізом кільцевої горловини:

- 1 – корпус; 2 – регулювальний конус; 3 – дифузор; 4 – горловина;
5 – конфузор; 6 – форсунка; 7 – відцентровий краплеуловлювач

З аеродинамічної точки зору оптимальна конфігурація труби Вентурі (рис. 5.14) забезпечується при таких співвідношеннях розмірів її елементів:

конфузор – діаметр вхідного перерізу, м	d'
кут звуження, град	$\xi = 25-28;$
довжина	$l' = (d' - d_r) / 2 \cdot \operatorname{tg} \xi' / 2;$
горловина – діаметр, м	d_r
довжина, м	$l_r = 0,15d_r$
дифузор – діаметр вхідного перерізу, м	d''
кут розкриття, град	$\xi'' = 6-7$
довжина, м	$l'' = (d'' - d_r) / 2 \cdot \operatorname{tg} \xi'' / 2$

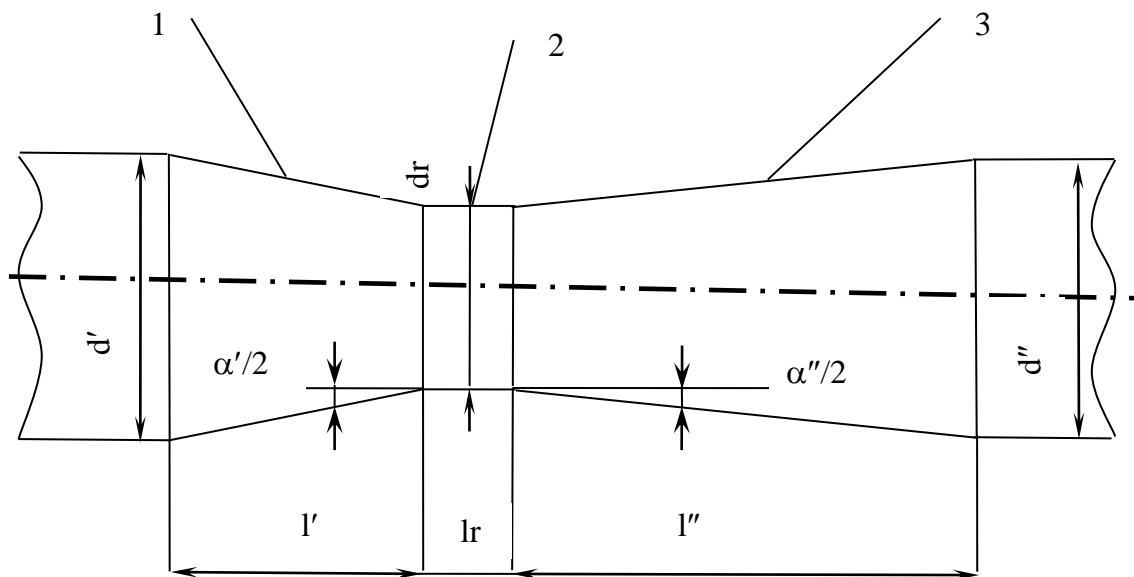


Рисунок 5.14 – Нормалізована труба Вентурі:
1 – конфузор; 2 – горловина; 3 – дифузор.

В енергетиці для вловлювання золи знайшли широке застосування мокрі скрубери з пристроєм для попереднього зволоження газів, який виготовлений у формі труби Вентурі. В такому випадку частинки пилу захоплюються більш великими краплинками води, внаслідок чого відбувається процес їх коагулювання. Потім ці коагульовані частинки ефективно затримуються на стінках відцентрових скруберів.

На рис. 5.15 наведена схема золовловлювача МС-ВТІ з коагулятором у формі труби Вентурі. Перед трубою Вентурі в рухомий потік газів через розбризкувач вводиться вода. Труба Вентурі складається з конфузора, в якому відбувається збільшення швидкості газів з 20 до 50...70 м/с. В горловині 4, краплинки води, яка поступає через форсунки, розташовані в конфузори 3, роздрібнюються пилогазовим потоком.

Таблиця 5.9 – Технічні показники скрубєрів Вентурі з кільцевою горловиною

Найменування	Марка скрубєра									
	CB150/90-800	CB210/120-1200	CB300/180-1600	CB400/250-2200	CB900/820-1600	CB1020/920-2000	CB1150/1020-2400	CB1380/1220-2000	CB1620/1420-2400	CB1860/1620-2800
Продуктивність, тис. м ³ /год:										
- максимальна	7	15	30	50	180	120	180	240	340	500
- мінімальна	2	7	15	30	50	80	120	160	240	340
Висота скрубєра Н, мм	4095	4980	6205	7400	9160	11060	13165	11060	13165	14880
Розміри труби-розпилювача, мм:	150	210	300	400	900	1020	1150	1380	1620	1860
- діаметр горловини	90	120	180	250	820	920	1020	1220	1420	1620
- діаметр обтічника	250	250	350	350	150	185	212	245	350	400
- хід обтічника	250	250	350	350	150	185	212	245	350	400
Число краплеуловлювачів, шт	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
Діаметр краплеуловлювача, мм	800	1200	1600	2200	1600	2000	2400	2000	2400	2800
Швидкість газу у вільному перерізі краплеуловлювача, м/с:										
- максимальна	5,0	5,0	5,0	5,0	11,0	10,6	11,0	10,6	10,4	11,3
- мінімальна	1,4	2,3	2,5	3,0	6,9	7,1	7,4	7,1	7,4	7,7
Маса, т	1,14	1,9	3,7	6,63	8,06	10,73	14,17	19,96	27,00	34,47

Таблиця 5.10 – Технічні характеристики типорозмірного ряду високонапірних труб Вентурі

Марка труби Вентурі	Продуктивність, м ³ /год	Діаметр горловини труби Вентурі, мм	Витрати зрошувальної рідини, м ³ /год	Тиск рідини перед форсункою, кПа	Габаритні розміри, мм	Маса апарата, не більше, кг
ГВПВ-0,010-400	115	3100-6500	2,16-5,00	80-410	540-610-2500	117
			5,00-12,00	63-400	540-685-2500	120
ГВПВ-0,014-400	135	4140-8400	2,90-5,00	80-410	575-700-2940	148
			5,00-7,00	60-700	575-740-2940	150
ГВПВ-0,019-400	180	5590-11340	3,90-12,80	80-980	645-785-3140	174
			13,00-22,70	420-710	645-795-3140	175
ГВПВ-0,025-400	180	7490-15120	5,20-13,00	150-980	775-925-3790	244
			13,00-30,00	80-450	775-985-3790	257
ГВПВ-0,030-400	200	9320-18900	6,50-13,00	60-250	790-1325-4025	305
			13,00-38,00	100-910	790-1355-4025	310
ГВПВ-0,045-400	240	13800-28000	9,75-30,00	60-750	880-1420-4620	400
			30,00-56,00	110-390		420
ГВПВ-0,060-400	280	18630-37800	13,00-30,00	100-570	1075-1630-5420	535
			30,00-75,60	110-710		560
ГВПВ-0,080-400	320	23460-47600	16,80-45,00	75-570	1545-1480-5940	645
			45,00-95,20	110-500		675
ГВПВ-0,100-400	370	32430-65800	22,60-45,00	80-320	1835-1835-7240	935
			45,00-131,60	63-540	1860-1860-7240	975
ГВПВ-0,140-400	420	41400-84000	28,80-45,00	130-320	2015-2015-8140	1160
			45,00-168,00	63-880	2060-2060-8140	1200

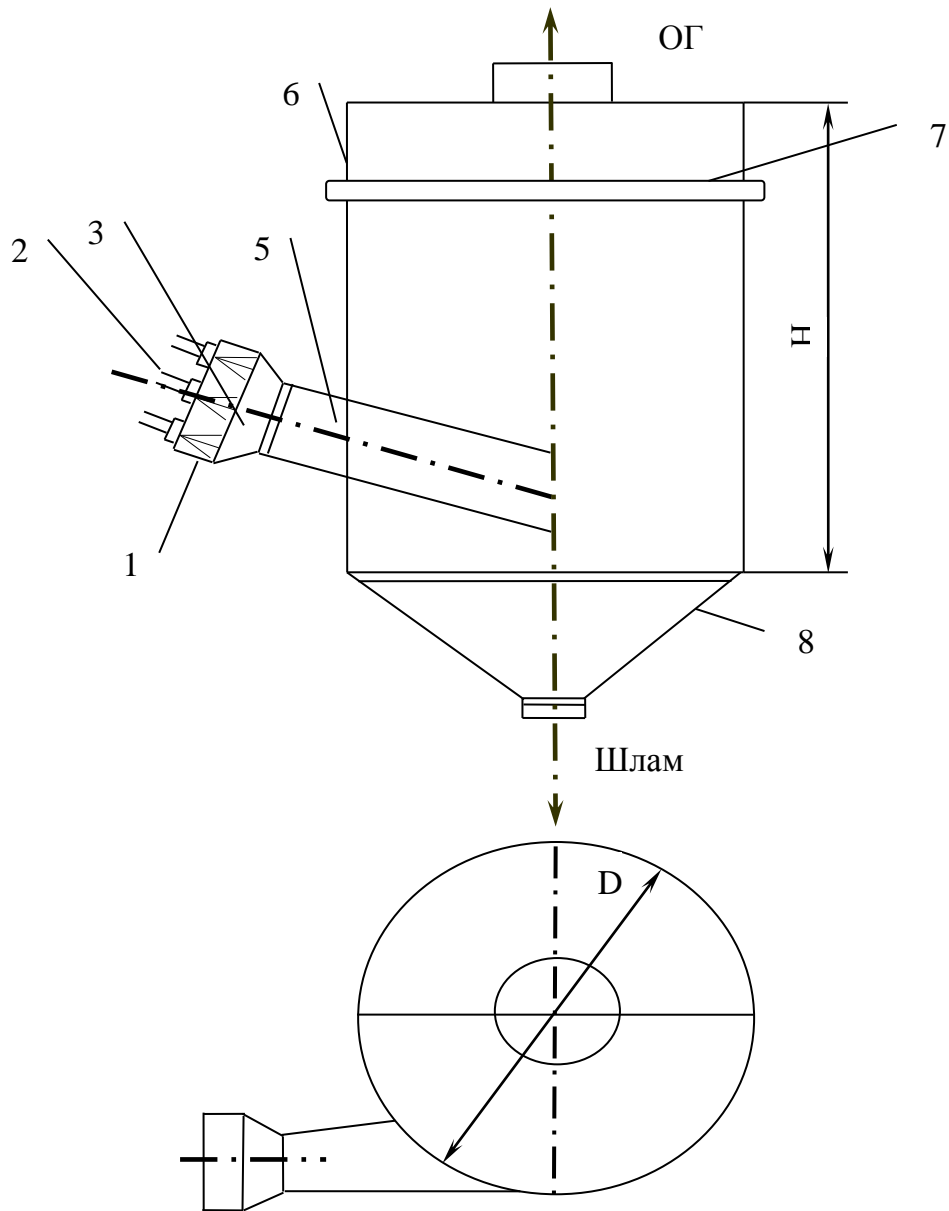


Рисунок 5.15 – Золовловлювач з коагулятором Вентурі:
 1 – вхідний патрубок запиленого газу; 2 – подання води через зрошувальні сопла; 3 – конфузур; 4 – горловина; 5 – дифузур; 6 – скруббер-краплеуловлювач; 7 – пристрій з соплами, які зрошують стінки скрубера; 8 – бункер для золи

В дифузурі 5 відбувається взаємодія частинок золи і краплинок води (коагулювання). Більш великі краплинки води поглинають дрібні частинки золи, що забезпечує їх краще вловлювання у відцентровому скрубері.

Потік тангенціально вводиться в скруббер 6, стінки якого зрошуються водою і коагульовані частинки ефективно видаляються в бункер для золи 8. Ступінь вловлювання таких золовловлювачів (92...97)%. Основні характеристики золовловлювача МС-ВТІ наведені в табл. 5.11.

Із загальної теорії золовловлювання виходить, що ступінь проскакування золовловлювача буд-якого типу визначається параметром золовловлювання:

$$\ddot{I} = V_0 \cdot A / V_r \cdot S_i, \quad (5.31)$$

де V_0 – ефективна швидкість осадження золи на поверхню осадження, м/с;

A – поверхня осадження, м²;

V_r – середня швидкість руху пилогазового потоку, м/с;

S_i – переріз для проходу газів, м².

Таблиця 5.11– Типорозміри золовловлювача МС-ВТІ

Краплеуловлювач			Горловина труби Вентурі		
Діаметр, м	Висота, м	Активний переріз, м ²	Активний переріз вхідного патрубку, м ²	Розміри, м	Переріз, м ²
2,8	9,66	5,72	1,37	0,39·1,17	0,455
3,0	10,32	6,60	1,67	0,43·1,23	0,530
3,2	10,98	7,54	1,95	0,46·1,40	0,644
3,6	12,20	9,62	2,41	0,45·1,80	0,810
4,0	13,61	11,93	3,00	0,50·2,00	1,00
4,5	15,25	15,20	3,88	0,57·2,28	1,30

Між параметром золовловлювання і проскакування існує таке співвідношення:

$$P = \exp(-\ddot{I}), \quad (5.32)$$

наведене на графіку (рис. 5.16).

Чим більший параметр \ddot{I} , тим менший ступінь проскакування і тим більший ступінь вловлювання.

Розрахунок проскакування можна вести спрощено, задаючись середньою швидкістю дрейфу для всіх частинок, чи точніше – для кожної фракції окремо. В останньому випадку загальне проскакування золи визначається за формулою:

$$P = \sum_{i=1}^{i=n} P_i \cdot \frac{\hat{O}_s}{100}, \quad (5.33)$$

де \mathcal{D}_i – ступінь проскакування для i -тої фракції, якій відповідають швидкість осадження V_i і параметр золовловлювання \mathring{I}_i ;

\hat{O}_i – частка i -тої фракції при вході в золовловлювач, %.

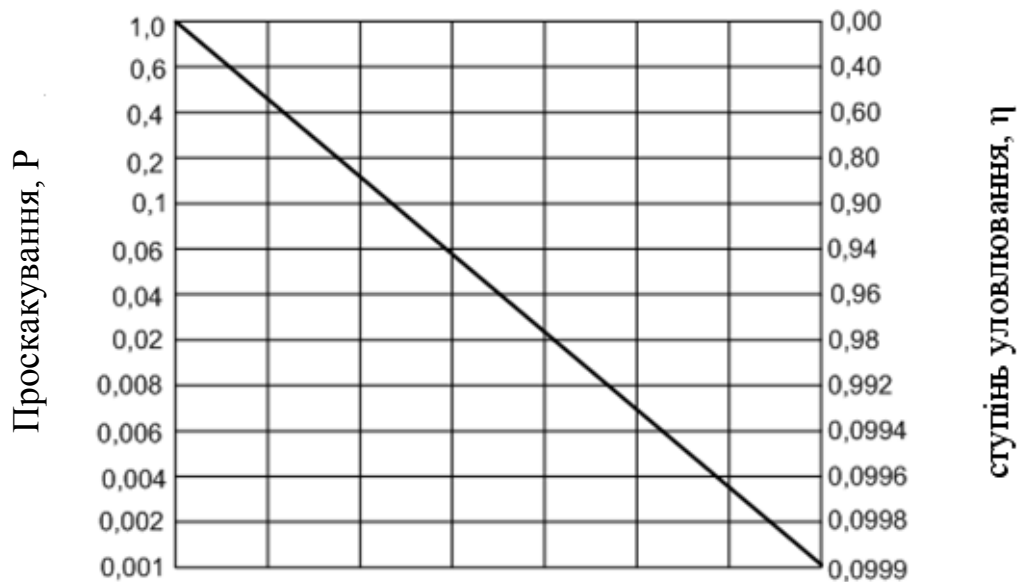


Рисунок 5.16 – Залежність проскакування P і ступеня вловлювання від параметра золовловлювача \mathring{I}

При двоступеневих золовловлювачах проскакування деякої фракції через проскакування в кожному ступені золовловлювача визначається за формулою

$$P = \mathcal{D}_i \cdot P_i'' \quad (5.34)$$

де \mathcal{D}_i – проскакування i -тої фракції в першому ступені золовловлювача;

P_i'' – проскакування тої ж фракції в другому ступені.

Для золовловлювачів з трубою Вентурі для параметра золовловлювання одержано таке емпіричне співвідношення:

$$\mathring{I} = \sqrt{Q_p \cdot V} \quad (5.35)$$

тобто, параметр золовловлювання визначається в основному добутком питомої витрати води (на 1 м^3 очищеного газу) Q_p на швидкість газу V в горловині труби Вентурі незалежно від фракційного складу. Звичайно

$V=60$ м/с (50...70 м/с), $Q_p = 0,15$ кг/м³ (0,12...0,20 кг/м³). Розміри скрубера (краплеуловлювача) визначаються при швидкості $V=5$ м/с, швидкість газів при вході в скруббер приймається $V_{\text{вх}}=20$ м/с.

Мокрі золовловлювачі рекомендується застосовувати при сірчистості палива не більше 0,3% кг/МДж для котлів паропродуктивністю до 670 т/год.

Розрахунок золовловлювачів подібного типу виконується в такій послідовності:

- визначають типорозмір краплеуловлювача за його площею для проходження газів (активний переріз вхідного патрубка, табл. 5.11)

$$S=Q/V \cdot N, \quad (5.36)$$

де Q – кількість очищуваних газів, м³/с;

V – швидкість газів в перерізі скрубера, приймається рівною 5 м/с;

N – число скруберів на котел;

- інші розміри елементів золовловлювача за певним типорозміром краплеуловлювача знаходяться з табл. 5.11;

- залежно від необхідного ступеня проскакування P за формулою (5.32) або рис. 5.13 знаходять параметр \ddot{I} ;

- вибирають Q_p і V_r так, щоб значення \ddot{I} , обчислені за формулою (5.35) і знайдені в п. 3 розрахунку, були рівні або максимально близькі між собою;

- підставляють у формулу (5.36) знайдене значення \ddot{I} і визначають переріз горловини труби Вентурі;

- загальний гідравлічний опір ΔP , Па, знаходять за формулою:

$$\Delta P = (0,25 + 0,01 \cdot Q_p \cdot V_r) \cdot \rho \cdot V_r^2 / 2 + 2,7 \cdot \rho \cdot V_{\text{вх}}^2 / 2, \quad (5.37)$$

де ρ – густина газу перед золовловлювачем, кг/м³;

$V_{\text{вх}}$ – швидкість газу при вході в краплеуловлювач, приймається рівною 20 м/с.

5.9 Приклади вибору і розрахунку мокрих пиловловлювачів

Приклад 5.1. Для даних прикладу 4.1 підібрати типорозмір і кількість мокрих золовловлювачів для ефективного очищення $\eta=96\%$ газів.

Розв'язування

1. Згідно з пунктами 1...7 (приклад 4.1) об'ємні витрати димових газів складають $Q=126 \text{ м}^3/\text{с}$.

2. Знаходимо необхідний активний переріз золовловлювача

$$S_r = Q/V_r = 126/5 = 25,2 \text{ (і}^2\text{)},$$

де V_r – швидкість газу в перерізі пиловловлювача, приймається рівною 5 м/с.

3. За табл. 5.11 вибираємо $N=2$ золовловлювачі МС-ВТІ діаметром 4,0 м і площею активного перерізу $S'=11,93 \text{ м}^2$. Тоді загальна площа активного перерізу буде рівна

$$S = S' \cdot N = 11,93 \cdot 2 = 23,86 \text{ (і}^2\text{)}.$$

4. За графіком (рис. 5.13) для ступеня очищення $\eta=96$ (проскакування $\text{D}=0,04$) знаходимо параметр золовловлювання $\ddot{\text{I}}=3,2$.

5. Користуючись формулою (5.35), знаходимо питомі витрати рідини, прийнявши швидкість газу в горловині труби Вентурі $V_r = 60 \text{ м/с}$

$$Q_p' = \ddot{\text{I}}^2 / V_r' = 3,2^2/60 = 0,17 \text{ (і}^3\text{)}.$$

6. Знаходимо необхідний переріз горловини труби Вентурі

$$S_r = Q / V_r' \cdot N = 126/60 \cdot 2 = 1,05 \text{ (і}^2\text{)}.$$

7. За табл. 5.11 вибираємо переріз горловини труби Вентурі $S_r = 1 \text{ м}^2$. Тоді дійсна швидкість газу в горловині буде рівна

$$V_r = Q / S_r \cdot N = 126/1 \cdot 2 = 63 \text{ (і}^3\text{)},$$

тобто знаходиться в межах норми (50...70 м/с).

8. Знаходимо дійсні питомі витрати рідини в золовловлювачі

$$Q_p = \ddot{\text{I}}^2 / V_r = 3,2^2/63 = 0,16 \text{ (і}^3\text{)}.$$

при нормативних значеннях, рівних 0,12...0,20 (кг/м³).

9. Загальний гідравлічний опір коагулятора Вентурі та краплеуловлювача розраховуємо за формулою

$$\Delta P = (0.25 + 0.01 Q_p \cdot V_r) \rho \frac{V_r^2}{2} + 2.7 \rho \frac{V_{\text{â}}^2}{2} =$$

$$(0,25 + 0,1 \cdot 0,16 \cdot 63) \cdot 0,797 \cdot \frac{63^2}{2} + 2,7 \cdot 0,797 \frac{20^2}{2} = 0,797 \text{ (â/î}^3\text{)},$$

де $V_{\text{â}}$ – швидкість газів при вході в скруббер приймаємо рівною 20 м/с;

ρ – густина газів при робочих умовах визначається за формулою (1.11);

$$\rho = \rho_0 \frac{\text{O} \text{ D}}{\text{D} \text{ O}} = 1,293 \frac{(99300 - 2500)}{101300(273 + 150)} = 0,797 \text{ (â/î}^3\text{)}.$$

Таким чином, параметри вибраного золовловлювача відповідають вимогам ГОСТ 25631 (табл. 5.2).

Приклад 5.2. Підібрати і розрахувати пінний пиловловлювач для очищення повітря, яке надходить від $N=5$ заточувальних верстатів інструментального цеху при атмосферному тиску й температурі $t=20^\circ\text{C}$.

Розв'язування

1. Згідно з додатком Д дисперсний склад пилу, який надходить від заточувальних верстатів складає:

d, мкм	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60	більше 60
$\Delta R, \%$	13	12,1	22,8	22,9	21,8	7,4

Початкова концентрація пилу $C_1 = 0,4 \text{ г/м}^3$; густина частинок пилу $\rho_{\text{п}} = 4000 \text{ кг/м}^3$.

2. З додатка Д приймаємо кількість очищувального повітря від 1 верстата $Q_1 = 4000 \text{ м}^3/\text{год}$ при робочих умовах. Тоді загальна кількість очищувального газу буде рівна:

$$Q = Q_1 \cdot N = 4000 \cdot 5 = 20000 \text{ (î}^3/\text{â} \text{ä)}.$$

3. Визначаємо густину повітря при робочих умовах користуючись формулою (1.11)

$$= 12 \cdot 2,78^{0,35} \cdot 25^{0,16} \cdot 0,006^{0,37} \cdot 0,4^{-0,465} \cdot 1000^{-0,53} = 0,17 \text{ (} \hat{i}^2 / \hat{i}^2 \text{)}.$$

11. При ромбічній розбивці отворів шаг між ними буде рівний

$$i_0 = d_0 \sqrt{0,91/S_0} = 0,006 \sqrt{0,91/0,17} = 0,014 \text{ (} \hat{i} \text{)}$$

12. Знаходимо гідравлічний опір апарата за формулами (5.18, 5.19, 5.23, 5.25, 5.27):

$$\Delta P = \Delta P_{\delta\bar{n}} + \Delta P_{\phi} + \Delta P_{\bar{a}\bar{i}} + \Delta P_G$$

$$\Delta P_{\delta\bar{n}} = \xi \cdot V^2 / (2 \cdot g \cdot S_0^2) \cdot \rho = 1,45 \cdot 1,2 \cdot 2,78^2 / (2 \cdot 9,81 \cdot 0,17^2) = 23,7 \text{ (} \ddot{i} \text{ à)};$$

$$\Delta P_{\phi} = 3,97 \cdot \hat{I}_i \cdot \rho_{\delta} \cdot V^{-0,25} = 3,97 \cdot 0,4 \cdot 1000 \cdot 2,78^{-0,25} = 951 \text{ (} \ddot{i} \text{ à)};$$

$$\Delta P_{\bar{a}\bar{i}} = \xi_a \cdot V^2 \cdot \rho / 2 = 28 \cdot 2,78^2 \cdot 1,2 / 2 = 130 \text{ (} \ddot{i} \text{ à)};$$

$$\Delta P_G = 4G/d_0 = 4 \cdot 6,3 \cdot 10^{-2} / 0,6 \cdot 10^{-2} = 42 \text{ (} \ddot{i} \text{ à)};$$

$$\Delta P = 23,7 + 951 + 130 + 42 = 1146,7 \text{ (} \ddot{i} \text{ à)}.$$

тобто, знаходиться в межах норми 800...2000 Па (табл. 5.2).

13. Для визначення фракційної ефективності пиловловлювача знаходимо поверхню контакту фаз за формулою (5.29):

$$\hat{\Lambda} = 19,6 \cdot 10^3 \cdot V^{1,35} \cdot q_p^{0,5} \cdot S_0^{-2,47} \cdot d_e^{0,8} \cdot \rho_p^{-1,25} =$$

$$= 19,6 \cdot 10^3 \cdot 2,78^{1,35} \cdot 25^{0,5} \cdot 0,17^{-2,47} \cdot 0,006^{0,8} \cdot 1000^{-1,25} =$$

$$= 93,5 \text{ (} \hat{i}^2 / (\hat{i}^2 \cdot \hat{a}\hat{i} \text{ à)}).$$

14. Фракційну ефективність пиловловлювання знаходимо за формулою (5.28)

$$\eta_{\delta\delta} = 100 \left[1 - 5 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\frac{(1,28 - d_e^{0,08})}{(A^{0,8} \cdot V^{0,85})} \right] \right].$$

Нижче наведені дані щодо ефективності пиловловлювання для кожної фракції

d _ч , мкм	0-5	5-10	10 -20	20-40	40-60	більше 60
η _{фр} , %	97,6	97,7	97,72	97,76	97,8	97,83

15. Загальна ефективність пиловловлювання з врахуванням фракційної ефективності буде рівна:

$$\eta = \frac{r_{\delta\delta}^{2,5} \cdot \Delta R^{2,5} + r_{\delta\delta}^{7,5} \cdot \Delta R^{7,5} + r_{\delta\delta}^{15} \cdot \Delta R^{15} + r_{\delta\delta}^{30} \cdot \Delta R^{30} + r_{\delta\delta}^{50} \cdot \Delta R^{50} + r_{\delta\delta}^{60} \cdot \Delta R^{60}}{100} =$$

$$= \frac{97,6 \cdot 13 + 97,7 \cdot 12,1 + 97,72 \cdot 22,8 + 97,76 \cdot 22,9 + 97,8 \cdot 21,8}{100} +$$

$$+ \frac{97,83 \cdot 7,4}{100} = 97,74 (\%)$$

Контрольні запитання

1. Розкрийте суть та особливості застосування мокрого очищення газів.
2. Перерахуйте основні переваги та недоліки мокрих пиловловлювачів.
3. Опишіть порядок роботи порожнистих газопромивників.
4. Охарактеризуйте особливості роботи насадкових газопромивників.
5. Наведіть характеристики пінних пиловловлювачів.
6. Розкажіть про особливості застосування механічних газопромивників.
7. Поясніть особливості конструкції ударно-інерційних апаратів та процесу очищення газу в них.
8. Опишіть принцип використання відцентрової сили для вловлювання частинок пилу в скруберах відцентрової дії.
9. Розкрийте суть роботи швидкісних газопромивників.
10. Наведіть класифікацію та особливості низьконапірних скруберів Вентурі.

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ДО 6 РОЗДІЛУ

- Q – об'ємні витрати газу, який очищається, $\text{м}^3/\text{с}$;
 M – маса компонента, який поглинається, $\text{г}/\text{с}$;
 K_a – коефіцієнт абсорбції, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год Па})$;
 V – швидкість газу, $\text{м}/\text{с}$;
 d_3 – діаметр зерен насадки, м ;
 d_e – еквівалентний діаметр насадки, м ;
 P – парціальний тиск, Па ;
 c', c'' – концентрація шкідливих речовин в забруднених і очищених газах, $\text{г}/\text{м}^3$, $\text{мг}/\text{м}^3$;
 τ – час процесу адсорбції, с ;
 ξ – коефіцієнт гідравлічного опору;
 Re – критерій Рейнольдса, безрозмірна величина;
 Ar – критерій Архімеда, безрозмірна величина;
 S – площа, м^2 ;
 V – об'єм, м^3 ;
 L, B, H – довжина, ширина, висота, м ;
 D – діаметр, м ;
 ρ_a, ρ_{\pm} – густина газу, частинок, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, $\text{Па} \cdot \text{с}$;
 \dot{O}, \dot{D} – температура і тиск при робочих умовах: К , Па ;
 \dot{O}_0, \dot{D}_0 – температура і тиск при нормальних умовах: К , Па ;
 β – коефіцієнт масопередачі, с^{-1} ;
 t – температура, $^{\circ}\text{C}$;
 ε – порожність статичного шару;
 ρ_i, ρ_o – насипна і уявна густина поглиначка, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 v_a – швидкість витання, $\text{м}/\text{с}$;
 ϕ_o – коефіцієнт форми частинок;
 η – ступінь очищення газів;
 Q_{δ} – об'ємні витрати поглинальної рідини, $\text{л}/\text{м}^3$.

Прийняті скорочення:

- ОГ – очищений газ;
ЗГ – забруднений газ;
УП – уловлений пил;
н. у. – нормальні умови.

6 ОЧИЩЕННЯ ВИКИДІВ ВІД ГАЗО- І ПАРОПОДІБНИХ ЗАБРУДНЕНЬ

Технологічні гази промислових агрегатів (печей, котлів, ванн, вагранок) крім твердих частинок вміщують шкідливі газо- і пароподібні викиди у вигляді окислів сірки і азоту, окису вуглецю, сірководню, хлору, хлористого водню тощо, які забруднюють атмосферу. Вловлювання газоподібних викидів має на меті санітарне очищення газів і використання напівпродуктів, які вловлюються, для одержання добрив, кислот, сірки та інших цінних хімічних продуктів.

Методи очищення промислових викидів від газоподібних забруднень за характером протікання фізико-хімічних процесів поділяються на шість основних груп:

- поглинання при промиванні газів рідинами – *абсорбція*;
- промивання викидів розчинами реагентів, які хімічно сполучають домішки – *хемосорбція*;
- поглинання газоподібних домішок твердими активними речовинами – *адсорбція*;
- *термічна нейтралізація* газів;
- поглинання домішок шляхом застосування *каталітичних перетворень*;
- *біохімічне очищення* газів.

6.1 Абсорбція

Абсорбція – фізико-хімічний процес поглинання речовин з розчинів чи сумішей газів твердими тілами або рідинами з утворенням розчинів. При абсорбції поглинання речовини відбувається всім об'ємом поглинача. Абсорбція знаходить широке застосування в техніці, головним чином для розділення газоподібних сумішей на складові частини шляхом розчинення одного чи декількох компонентів цієї суміші в рідині, яка називається *абсорбентом*. Фізична сутність процесу абсорбції пояснюється плівковою теорією, згідно з якою при стиканні рідини і газоподібних речовин на поверхні поділу обох фаз утворюються рідинна і газова плівки. Розчинний в рідині компонент газоподібної суміші проникає шляхом дифузії спочатку крізь газову плівку, а потім крізь рідинну і надходить у внутрішні шари адсорбенту. Для здійснення дифузії необхідно, щоб концентрація розчиненого компонента в газовій суміші перевищувала його рівновагову концентрацію над рідиною. Якщо концентрація розчинного компонента в газоподібній суміші менша його рівновагової концентрації над рідинною, дифузія відбувається у зворотному напрямку. В цьому випадку замість поглинання розчиненого компонента відбувається виділення його з

розчину в газоподібному стані. Такий процес називається десорбцією і застосовується в техніці для витягання поглинених речовин з абсорбенту.

Типова схема промислової абсорбційної установки наведена на рисунку 6.1. Апарат для поділу суміші газів на складові частини шляхом розчинення одного чи декількох компонентів цієї суміші в рідині називається абсорбером.

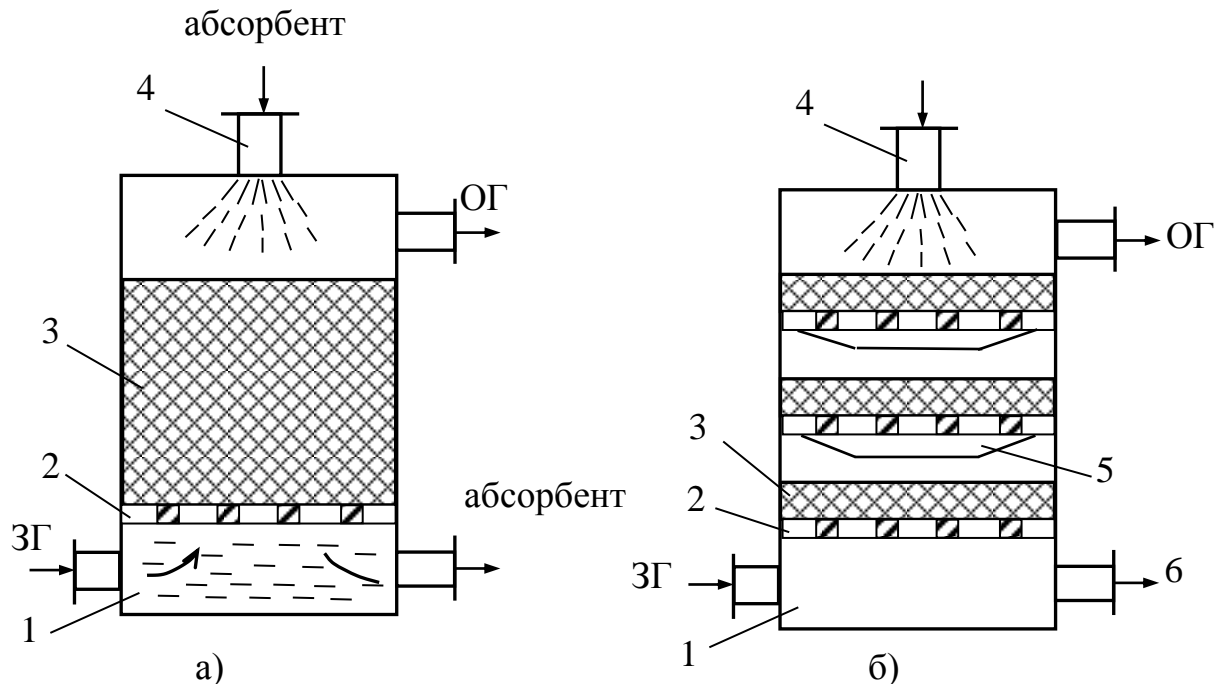


Рисунок 6.1 – Схема абсорбера:

1 – корпус; 2 – горизонтальні решітки; 3 – насадки; 4 – підведення абсорбенту; 5 – перерозподільний пристрій для рідини; 6 – виведення абсорбенту

Звичайний абсорбер, який називають також скрубером, – це металева або керамічна колона діаметром до 6 м і висотою до 40 м з декількома горизонтальними решітками, на яких розміщена насадка, що збільшує поверхню стикання рідини і газів. Найбільш розповсюдженими насадками є куски коксу, каміння та металеві або керамічні кільця. Суміш газів подається в нижню частину колони і піднімається вгору. Назустріч їй насадками стікає вниз абсорбент, внаслідок чого один або декілька газів цієї суміші розчиняються в рідині. Нерозчинені складові частини газової суміші видаляються з абсорбера через вихідний патрубок, а рідина витікає трубопроводом.

Вирішальною умовою при виборі абсорбенту є розчинність в ньому витягнутого компонента та її залежність від температури і тиску. Якщо розчинність газів при 0°C і парціальному тиску складає сотні грамів на 1 кг розчинника, то такі гази називають добре розчинними.

Для видалення з технологічних викидів таких газів, як аміак, хлористий або фтористий водень доцільно застосовувати як поглинальну рідину воду [34], тому що розчинність їх у воді складає сотні грамів на 1 кг H_2O . При поглинанні ж з газів сірчаного ангідриду чи хлору витрати води будуть значними, тому що розчинність їх складає соті частки грама на 1 кг води. В деяких спеціальних випадках замість води застосовують водні розчини таких хімічних речовин, як сірчана кислота (для вловлювання водяних парів), в'язкі масла (для вловлювання ароматичних вуглеводнів із коксового газу) тощо.

Контакт газового потоку з рідким розчинником здійснюється пропусканням газового потоку через насадкову колону (рис. 6.1) або розпиленням рідини чи барботажем газу через шар абсорбувальної рідини. Залежно від реалізованого способу контакту газ – рідина розрізняють:

- насадкові башти: форсункові (рис. 5.1), відцентрові скрубери (рис. 5.7 і 5.8);
- барботажно-пінні (рис. 5.4) скрубери;
- скрубери Вентурі (рис. 5.11...5.14) та інші.

Розрахунок абсорбера складається з визначення об'ємних витрат поглинальної рідини Q_p , необхідної поверхні дотику газу з рідиною і параметрів допоміжних апаратів (потужність насосів, розмір баків тощо).

Об'ємні витрати поглинальної рідини розраховують з рівняння матеріального балансу процесу абсорбції – маса поглиненого компонента m , г/с, яка видалена з очищуваного газу, повинна бути рівна масі цього компонента, яка перейшла в рідину:

$$m=Q(y_1-y_2)=Q_p(x_2-x_1), \quad (6.1)$$

де Q – об'ємні витрати газу, який очищається, m^3/c ;

\tilde{o}_1 і \tilde{o}_2 – початкова і кінцева концентрації газового компонента в поглинальній рідині, $г/м^3$;

\acute{o}_1 і \acute{o}_2 – початкова і кінцева концентрації газоподібного компонента в газі, який очищається, $г/м^3$.

Необхідну поверхню дотику газу S , $м^2$, з рідиною визначають за формулою:

$$S=10^3m/(K_a \cdot \Delta P_{cp}), \quad (6.2)$$

де K_a – коефіцієнт абсорбції (коефіцієнт масопередачі), $кг/(м^2 \cdot год \cdot Па)$;

ΔP_{cp} – середня рушійна сила абсорбції, $Па$.

Коефіцієнт абсорбції характеризує швидкість розчинення газового компонента в рідині й визначається загальним опором дифузії цього компонента через газову і рідинну плівки. Для добре розчинних газів значення коефіцієнта абсорбції можна визначити за формулою, яка запропонована І. Л. Пейсаховим:

$$K_a = \frac{53,7 \cdot 10^6 \cdot M \cdot V^{0,75} (0,0011T - 0,18)^{0,25}}{(13,7 + \sqrt{V}) d_a^{0,25}}, \quad (6.3)$$

де M – молекулярна маса компонента, який поглинається, кг;

V – швидкість газу у вільному перерізі скрубера, м/с;

T – абсолютна температура газу, К;

d_e – еквівалентний діаметр насадки, рівний збільшеному вчетверо значенню живого перерізу насадки, поділеного на її питому поверхню, м.

Рушійна сила абсорбції рівна різниці парціального тиску компонента, який поглинається в газовій фазі, та рівноважного парціального тиску цього компонента над поглинальною рідиною. Для підрахунку середньої рушійної сили абсорбції необхідно знайти середньоарифметичне значення рушійної сили абсорбції виходячи з її значення на вході та виході з апарата. Якщо ці значення відрізняються більше як в два рази, то ΔP_{cp} , Па, необхідно розрахувати як середню логарифмічну величину:

$$\Delta P_{cp} = \frac{(P_r' - P_p') - (P_r'' - P_p'')}{\ln[(P_r' - P_p')(P_r'' - P_p'')]}, \quad (6.4)$$

де P_r' і P_r'' – відповідний парціальний тиск компонента, який поглинається в газовій фазі на вході та виході з апарата, Па;

P_p' і P_p'' – відповідно парціальний рівноваговий тиск компонента, який поглинається над рідиною на вході та виході з апарата, Па.

Слід мати на увазі, що при протитечії (газ і рідина рухаються назустріч один одному) значення ΔP_{cp} більше, ніж при прямотечії (газ і рідина рухаються в одну сторону). Отже, протитечія вигідніша, тому що для її здійснення необхідна апаратура меншого розміру. Прямотечію доцільно застосовувати, коли рівноваговий тиск компонента, який поглинається, над рідиною дуже малий і майже не збільшується при розчиненні газового компонента. Звичайно це здійснюється в тих випадках, коли компонент газу, який розчиняється, вступає в реакцію з рідиною або її компонентами (хемосорбція). Прямотечія особливо неефективна для погано розчинних газів.

6.2 Хемосорбція

Хемосорбція – поглинання газів, парів і розчинених речовин твердими чи рідкими поглиначами (сорбентами) з утворенням малолетких чи малорозчинних хімічних сполук. Прикладами хемосорбції в системі тверде тіло – газ (пара) можуть бути: поглинання кисню окислом барію при температурі біля 600°C з утворенням перекису барію, поглинання азоту розжареним металевим магнієм з утворенням нітриду магнію. Звичайне окислення металів можна розглядати як хемосорбцію кисню повітря. Газоподібний двоокис вуглецю сорбується гашеним вапном з утворенням вуглекислого кальцію. Пари хлорного водню поглинаються гашеним вапном, утворюючи при цьому хлорний кальцій.

Максимальна кількість речовини, яка поглинається, визначається стехіометричною ємністю і пружністю парів одержаної хімічної сполуки при даній температурі. Поглинання відбувається звичайно в динамічних умовах, тобто при продуванні пароповітряної суміші через шар зернистого хемосорбенту або при барботуванні газу через шар поглинального розчину. Проте для системи тверде тіло – газ (пара) стехіометрична ємність практично не використовується, тому що гальмом хімічної реакції є процес дифузії поглинальної речовини крізь шар продуктів реакції, утворених на зернах поглинача. Для кращого використання ємності доцільно наносити тонкий шар хемосорбенту на пористу основу – вугілля, пемзу тощо. Хемосорбція при певних умовах є зворотним процесом.

Хемосорбція застосовується в техніці при поглинанні двоокису вуглецю, окислів азоту, сірчаного ангідриду, аміаку тощо [34]. Поглинання звичайно здійснюється в колонах, споряджених пористою насадкою, через яку зверху подається поглинальний розчин, а знизу – потік пароповітряної суміші.

6.3 Адсорбція

Адсорбція – поглинання якої-небудь речовини з газоподібної суміші або розчину поверхневим шаром рідини, або твердого тіла. Речовина, на поверхні якої проходить адсорбція, називається *адсорбентом*, а та, що поглинається з об'ємної фази, – *адсорбатом*. Залежно від характеру взаємодії між молекулою адсорбату і адсорбентом адсорбцію прийнято поділяти на фізичну адсорбцію і хемосорбцію. Фізична адсорбція обумовлена силами міжмолекулярної взаємодії, які зв'язують молекули в рідинах і деяких кристалах, та проявляється в поведінці сильно стиснутих газів. При хемосорбції молекули адсорбату і адсорбенту утворюють хімічні сполуки. Часто адсорбція обумовлена як фізичними, так і хімічними силами, тому не існує чіткої границі між фізичною адсорбцією і хемосорбцією.

Установки, в яких здійснюють адсорбцію, називаються адсорберами. Існують адсорбери періодичної та безперервної дії.

В адсорберах періодичної дії газова суміш, з якої повинні бути витягнуті деякі компоненти, надходить через патрубок 1 в адсорбер (рис. 6.2), проходить через шар пористого адсорбенту 2, розташованого на горизонтальній решітці 3, і видаляється з апарата через патрубок 4. Після насичення адсорбента, яке визначається початком проскакування компонента, що поглинається, проводиться десорбція. Шар адсорбенту прогрівається паром, який надходить через патрубок 5. При цьому з адсорбенту відганяються пари витягнутих речовин, які відводяться через патрубок 6 на конденсацію і наступну переробку. Потім адсорбент сушать гарячим паром і після охолодження повторюють цикл процесу.

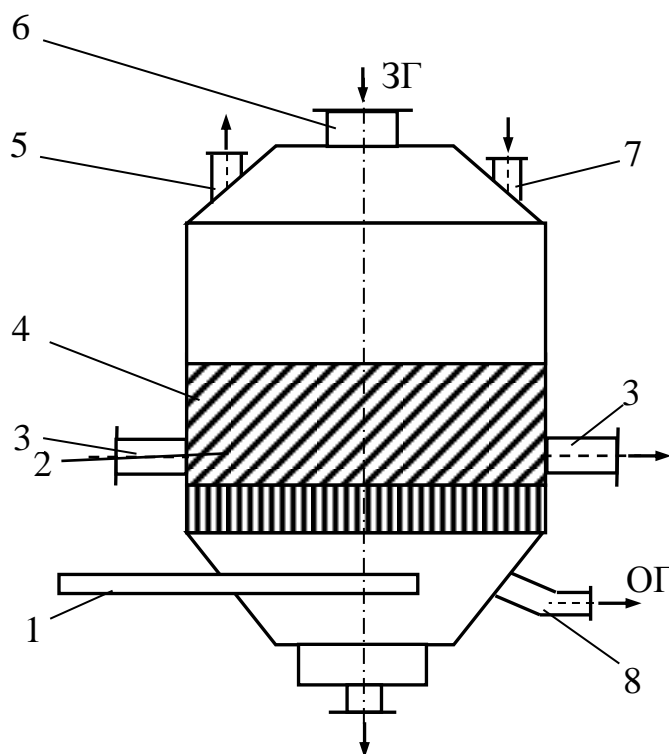


Рисунок 6.2 – Адсорбер періодичної дії:

1 – штуцер для відведення конденсату; 2 – решітка; 3 – люки для вивантаження адсорбенту; 4 – адсорбент; 5 – штуцер для відведення парів при десорбції; 6 – патрубок для підведення забрудненого газу; 7 – люк для завантаження адсорбенту; 8 – штуцер для відведення очищеного газу та повітря під час регенерації

В промисловості звичайно застосовують установки безперервної дії. Вони складаються з двох і більше описаних вище адсорберів, які по чергово включаються для адсорбції газів. Після насичення адсорбенту в першому адсорбері подачу газу переключають на другий, а в першому в цей час проводять десорбцію, сушку і охолодження, після чого його

переключають на цикл поглинання, а другий адсорбер – на десорбцію, сушку і охолодження.

В адсорберах безперервної дії (їх називають гіперсорбери) зернистий адсорбент переміщується вертикальною колоною, у верхній частині якої проходить адсорбція, а в нижній – десорбція під дією нагрівання.

Крім гіперсорберів застосовують адсорбери безперервної дії з киплячим шаром адсорбенту (рис. 6.3).

В корпусі 1 одноступеневого адсорбера встановлена розподільна решітка 2, через яку знизу подається газ, що приводить дрібнозернистий адсорбент в стан киплячого шару 3. Адсорбент безперервно надходить зверху і видаляється через трубу 5 на десорбцію.

До промислових адсорбентів висувають такі вимоги: вони повинні бути з великою динамічною ємністю (часом захисної дії), великою питомою поверхнею, вибірністю адсорбції, термічною і механічною стійкістю, здібністю до регенерації, простотою виготовлення, дешевизною.

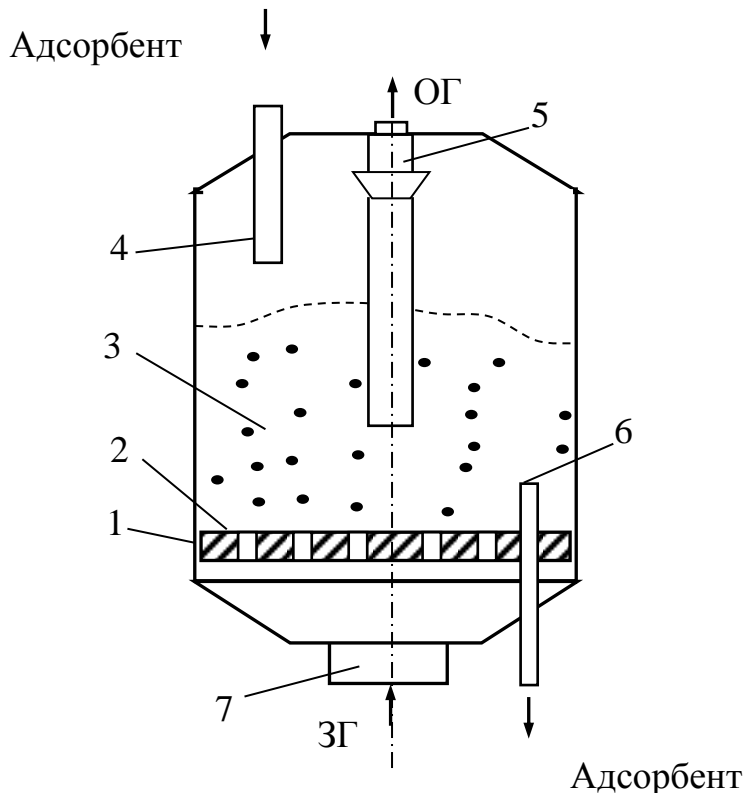


Рисунок 6.3 – Адсорбер з киплячим шаром адсорбенту:

- 1 – циліндричний корпус з конусом знизу; 2 – розподільна решітка; 3 – адсорбент; 4 – патрубок для введення адсорбенту; 5 – пристрій для виведення очищеного газу; 6 – патрубок для виведення адсорбенту; 7 – штуцер для подачі забрудненого газу

Для адсорбційного очищення газів в промисловості частіше всього застосовують такі пористі адсорбенти: активоване вугілля, силікагелі,

цеоліти, глинисті матеріали, пористе скло тощо. Всі вони по-різному відповідають перерахованим вимогам і при їх виборі враховують найбільшу активність відносно компонента, який треба вилучити.

Одним із основних параметрів при виборі адсорбенту є адсорбційна здатність до компонента, який вилучається. Адсорбційна здатність або маса речовини a , яка поглинається одиницею маси адсорбенту в довільний момент часу, залежить від концентрації адсорбованої речовини (парціального тиску P , Па) біля поверхні адсорбента, загальної площі цієї поверхні, фізичних, хімічних та електричних властивостей адсорбованої речовини і адсорбенту, температурних умов та наявності інших домішок.

Як характеристики адсорбційних властивостей пористих тіл використовують залежність адсорбційної здатності від парціального тиску газового компонента, який поглинається при постійній температурі (ізотерма адсорбції):

$$\alpha = \varphi(P) \quad \text{при} \quad \dot{Q} = \text{const.}$$

На рис. 6.4 зображені типи ізотерм адсорбції для різних адсорбентів. У всіх випадках адсорбційна здатність сорбенту збільшується при підвищенні тиску адсорбату, але характер цього збільшення різний. Випукла ізотерма 1 специфічна для адсорбції на дрібнодисперсних сорбентах, які застосовуються для очищення газової суміші при малому парціальному тиску компонентів, які вилучаються, і для осушування. Ізотерма 2 типова для непористих адсорбентів при полімолекулярній фізичній адсорбції. Ізотерма 3 спостерігається на адсорбентах з розвинутою системою великих і середніх пор. Ці сорбенти доцільно застосовувати для вилучення летких газів при парціальному тиску, близькому до тиску насичення.

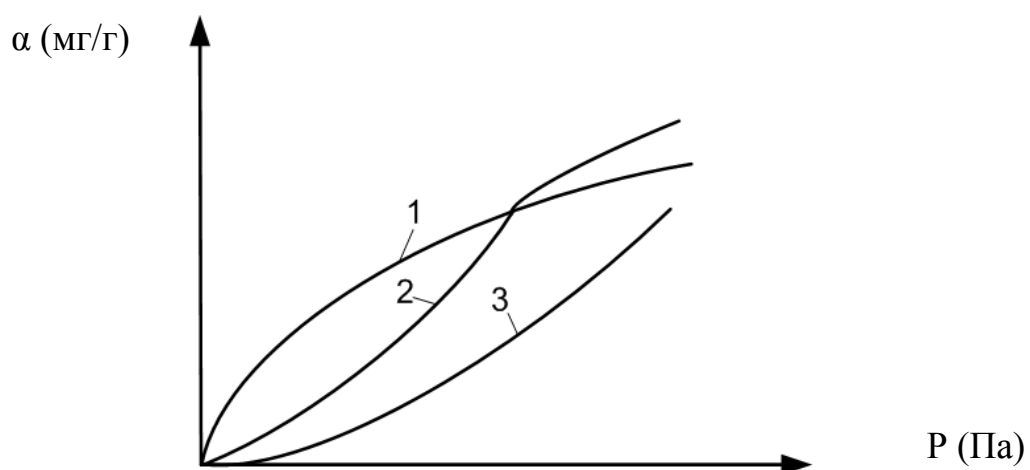


Рисунок 6.4 – Ізотерми адсорбції

В основі інженерно-технічного розрахунку адсорбційного методу очищення знаходиться сітка кривих, що відображає рівновагу компонента, який поглинається адсорбентом, тобто сітка ізотерм адсорбції 3.

На рис. 6.5 зображені ізотерми адсорбції SO_2 на активованому вугіллі СКТ в діапазоні температур від 20 до 150°C . Як видно, зі збільшенням температури відбувається зниження адсорбційної здатності активованого вугілля. На цій властивості адсорбентів заснований процес їх регенерації. Регенерацію здійснюють нагріванням насиченого адсорбенту до температури, вищої за робочу, або продуванням його паром чи гарячим газом.

При проектуванні адсорбера використовують такі початкові дані: об'ємні витрати очищуваного газу G , $\text{м}^3/\text{с}$, концентрацію домішок, які витягуються C' , $\text{мг}/\text{м}^3$, і тиск вихідних газів P , Па. У результаті розрахунку визначають необхідну масу адсорбенту, конструктивні розміри, гідравлічний опір апарата і тривалість захисної дії адсорбера.

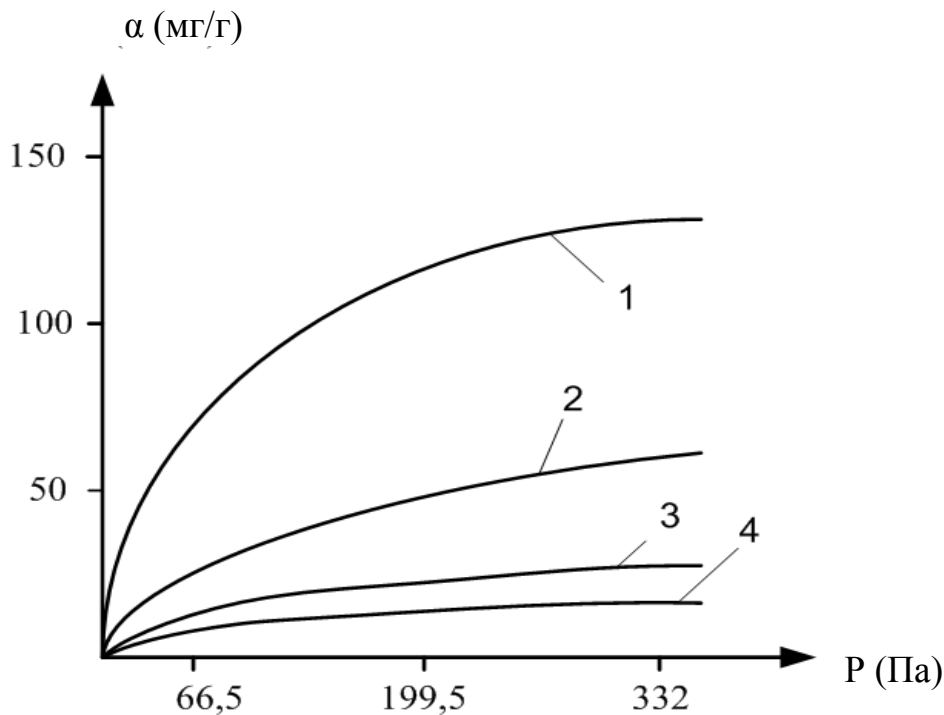


Рисунок 6.5 – Ізотерми адсорбції SO_2 на активованому вугіллі СКТ при різних температурах, $^\circ\text{C}$: 1 – 20; 2 – 50; 3 – 100; 4 – 150

На першому етапі розрахунку і проектування адсорбера вибирають робочу температуру і тип сорбенту. Для збільшення адсорбційної здібності сорбенту робочу температуру, як правило, вибирають мінімально можливою. Вибір типу сорбенту проводиться за ізотермами адсорбції при робочих параметрах температури і концентрації домішок з умови мінімальної маси сорбенту.

Мінімальну необхідну масу сорбенту m_a , г/с, визначають з рівняння матеріального балансу за компонентом, який вловлюється:

$$m_a = 10^3 \frac{Q \cdot c' \cdot \tau}{a_\infty} \cdot K_\zeta, \quad (6.5)$$

де a_∞ – статична поглинальна здібність адсорбенту в робочих умовах, мг/г адсорбенту;

τ – час процесу адсорбції, с;

K_ζ – коефіцієнт запасу рівний 1,1...1,2.

Швидкість потоку газу в адсорбері V , м/с, розраховують, виходячи з допустимого зменшення тиску ΔP , Па, в адсорбері:

$$V = \sqrt{\frac{4K_0 \cdot \Delta P \cdot d_e \cdot \ddot{I}_i^3 \cdot \rho_i \cdot Q}{3\xi \cdot (1 - \Pi_i) \cdot m_0}}, \quad (6.6)$$

де $K_0 = 1,5 \cdot d_e \cdot l_3 \cdot (l_3 + 0,5d_3)^{-1} \cdot (1,5 \cdot d_3^2 l_3)^{-1,3}$ – коефіцієнт форми зерна сорбенту, який враховує нерівномірну доступність всієї поверхні зерна потоку газу;

d_e – еквівалентний діаметр зерна сорбенту, м, для циліндричних зерен довжиною l_3 діаметром d_3 рівний

$$d_e = \frac{\ddot{I}_i \cdot d_3 \cdot l_3}{(1 - \ddot{I}_i)(0,5d_3 + l_3)}, \quad (6.7)$$

$\ddot{I}_i = (\rho_y - \rho_i) / \rho_y$ – пористість шару сорбенту визначається через уявну ρ_y і насипну ρ_i густину сорбенту;

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору, який визначається залежно від режиму течії газу: при $Re < 50$ $\xi = 220 / Re$; при $50 \leq Re \leq 7200$ $\xi = 11,6 / Re^{0,25}$, де $Re = v \cdot d_e \cdot \rho / \mu$ – критерій Рейнольдса. Звичайно, виходячи з умов здійснення необхідного часу контакту газу з сорбентом і мінімальних гідравлічних опорів;

v – швидкість газу приймається рівною 0,15...0,5 м/с.

Геометричні розміри адсорбера (діаметр D , м, і довжина L , м, шару адсорбенту) підраховуються за формулами:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot v \cdot \dot{I}_i}}, \quad L = \frac{4m_0}{\pi \cdot \rho_i \cdot D^2}. \quad (6.8)$$

Час захисної дії адсорбера визначається, виходячи з характеру кривої ізотерми адсорбції. Для області ізотерми адсорбції, в якій діє закон Генрі $\alpha = \tilde{A} \cdot \tau$, де \tilde{A} – безрозмірний коефіцієнт Генрі, рівний відношенню кількості адсорбованої речовини α_0 до початкової концентрації речовини в газовому потоці \tilde{N}' ; тривалість адсорбції τ , с, визначають за формулою:

$$\tau = L \sqrt{\frac{60\tilde{A}}{v}} \cdot B \sqrt{\frac{\tilde{A}}{\beta \cdot S_n}}, \quad (6.9)$$

де $S_n = 4/I \cdot \dot{I}_i / (d_3 - l_3)^{-1} (0,5d_3 - l_3)$ – питома поверхня адсорбенту, м²/м³;

B – коефіцієнт, залежний від співвідношення речовини, яка поглинається в газовому потоці на виході та вході адсорбера (табл. 6.1).

Коефіцієнт масопередачі β , с⁻¹ визначають залежно від режиму течії газу:

$$\beta = 0,838 R_{\dot{a}}^{0,47} \cdot \rho_r^{0,35} \cdot \frac{D_{\dot{a}}}{d_e^2}, \quad \text{при } R_e < 30 \quad (6.10)$$

$$\beta = 0,53 R_{\dot{a}}^{0,64} \cdot \rho_r^{0,33} \cdot \frac{D_{\dot{a}}}{d_e^2}, \quad \text{при } 30 < R_e < 50 \quad (6.11)$$

де $\rho_{\dot{a}} = \mu / D_{\dot{a}}$ – дифузійний критерій Прандтля;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості газу при робочих умовах, Па·с;

$D_{\dot{a}} = D_0 (T/T_0)^{1,5} \cdot (P_0/P)$ – коефіцієнт дифузії газу, який вловлюється в повітрі, м²/с;

D_0 – коефіцієнт дифузії при $T_0 = 273$ °К і $P_0 = 101,3$ кПа.

Таблиця 6.1 – Значення коефіцієнтів \hat{A}

\tilde{N}''/\tilde{N}'	B	\tilde{N}''/\tilde{N}'	B	\tilde{N}''/\tilde{N}'	B
0,005	1,84	0,1	0,94	0,5	0,07
0,01	1,67	0,2	0,63	0,6	-0,10
0,03	1,35	0,3	0,42	0,8	-0,27
0,05	1,19	0,4	0,23	0,9	-0,68

Для області ізотерми адсорбції, в якій дотримується рівняння Ленгмюра: $\alpha = AV\tau(1+A\tau)^{-1}$, де A і V – константи, які залежать від властивостей адсорбенту і адсорбованої речовини. Тривалість адсорбції τ , s , визначається за формулою:

$$\tau = \frac{60a_0}{v \cdot c'} \left\{ L_a - \frac{v}{60\beta S_n} \left[\frac{c'}{c_1} - \ln\left(\frac{c'}{c''} - 1\right) + \ln\left(\frac{c'}{c''} - 1\right) \right] \right\}, \quad (6.12)$$

де c_1 – вміст речовини в газовому потоці, рівноважний з кількістю речовини, рівній половині a_∞ , $кг/м^3$.

Для області ізотерми адсорбції, де величина адсорбції практично не залежить від вмісту речовини в газовому потоці (тобто $\alpha \approx \hat{\alpha}$), тривалість адсорбції τ , s , визначають за формулою:

$$\tau = \frac{60a_0}{v \cdot c'} \left[L_a - \frac{v}{60\beta S_n} \cdot \ln\left(\frac{c'}{c''} - 1\right) \right], \quad (6.13)$$

Якщо одержаний час захисної дії адсорбера відрізняється від заданого τ на величину $\Delta\tau$, то довжину апарата L_0 , $м$, змінюють на величину

$$\Delta L_0 = \frac{Q \cdot c' \cdot \Delta\tau}{\rho_i \cdot S_n \cdot a_\infty} \quad (6.14)$$

і перераховують масу сорбенту.

Адсорбція ефективна при видаленні великих концентрацій забруднювальних речовин (при цьому необхідна висока адсорбційна ємність або велика маса адсорбенту). В тих випадках, коли концентрації забруднювачів невеликі й обробленню підлягає велика кількість повітря, адсорбція може виявитися ефективною для видалення летких вуглеводнів і органічних розчинників. Цей метод застосовується у випадках, коли необхідна гарантована рекуперація достатньо цінних домішок, коли треба видалити пари отруйних речовин і канцерогенів, які передбачаються.

Адсорбцію широко застосовують при видаленні парів розчинників при фарбуванні, органічних смол і парів розчинників в системі вентиляції підприємств для виробництва скловолокна і склотканин, а також парів ефіру, ацетону та інших розчинників у виробництві нітроцелюлози і бездимного порошу. Адсорбенти також використовують для:

- очищення вихлопних газів автомобілів;

- видалення отруйних компонентів (наприклад, сірководню з газових потоків), які викидаються в атмосферу через лабораторні витяжні шафи;
- видалення радіоактивних газів при експлуатації ядерних реакторів, зокрема радіоактивного йоду.

6.4 Термічне знешкодження газів

На багатьох промислових підприємствах різних галузей промисловості знешкодження газів від домішок, які легко окислюються, а також від таких, що погано пахнуть, проводиться методами прямого спалювання.

Газові викиди, які вміщують горючі компоненти, дуже відрізняються для різних промислових джерел як за номенклатурою компонентів, які підлягають усуненню, так і за числом останніх, а також за теплотою згоряння і об'ємами, які складають від десятків до сотень тисяч м³/год. Способи газоочищення, засновані на високотемпературному спалюванні горючих домішок, широко застосовують в лакофарбових виробництвах, процесах одержання ряду видів хімічної, електротехнічної та електронної продукції, в харчовій індустрії, в друкарській справі, при знежирюванні та фарбуванні деталей і виробів та в багатьох інших процесах.

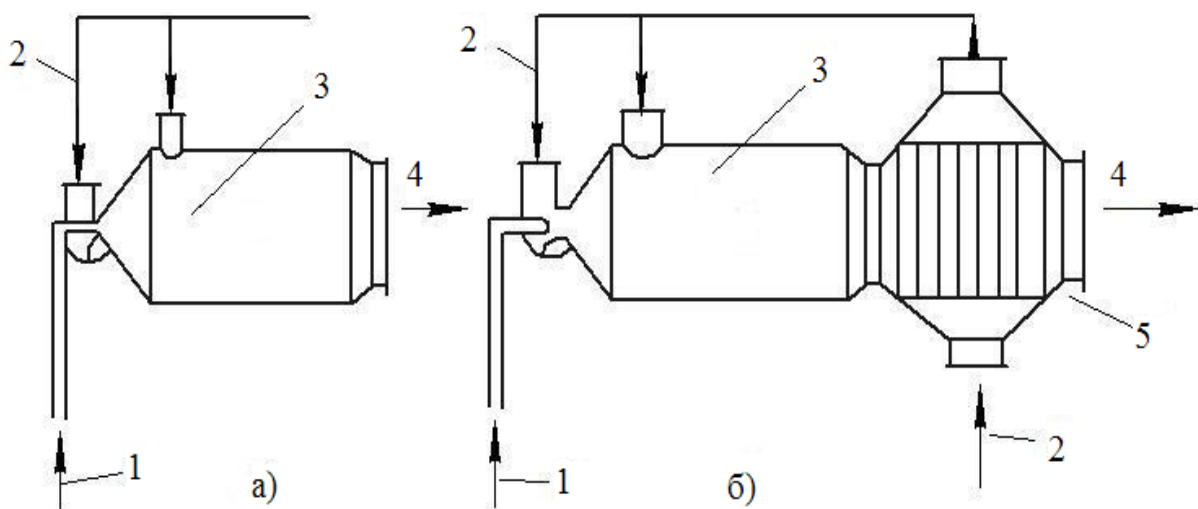


Рисунок 6.6 – Схеми термічних нейтралізаторів промислових газових відходів без теплообмінника (а) і з теплообмінником (б):

- 1 – подача палива; 2 – забруднені гази; 3 – камери згоряння;
4 – знешкоджені гази; 5 – теплообмінник

Суть цих способів – в окисленні знешкоджуваних компонентів киснем. Вони можуть застосовуватися для знешкодження практично будь-яких парів і газів, продукти спалювання яких менш токсичні за початкові речовини. Пряме спалювання застосовують в тих випадках, коли

концентрація горючих речовин у вихідних газах не виходить за межі спалювання. Процес здійснюють у звичайних чи вдосконалених топках, в промислових печах і топках котельних агрегатів, а також у відкритих факелах. Принципові схеми термічних нейтралізаторів для знешкодження вихідних газів промисловості наведені на рис. 6.6.

Схема відкритої факельної установки зі знешкодженням всього об'єму технологічних газів наведена на рис. 6.7.

Забруднені гази 1 направляють через сепаратор 2 на спалювання у факельну трубу 3. Конденсат із сепаратора повертають у виробництво або зливають в каналізацію через гідрозатвор 6. Факельну трубу оснащують черговими 4 і запальними 5 пальниками, до яких підводиться природний газ. Якщо необхідно спалювати різні природні гази, то в одній металоконструкції може бути змонтовано декілька факельних труб, до кожної з яких підводять газ певного складу.

Конструкції нейтралізаторів повинні забезпечувати необхідний час перебування знешкоджуваних газів в апараті при температурі, яка гарантує можливість досягнення заданого ступеня їх знешкодження (нейтралізації). Час перебування звичайно складає 0,1...0,5 с (деколи до 1 с), робоча температура в більшості випадків орієнтована на нижню границю samozapalennya знешкоджуваних газових сумішей і перевищує температуру запалювання (табл. 6.2) на 100...150°C.

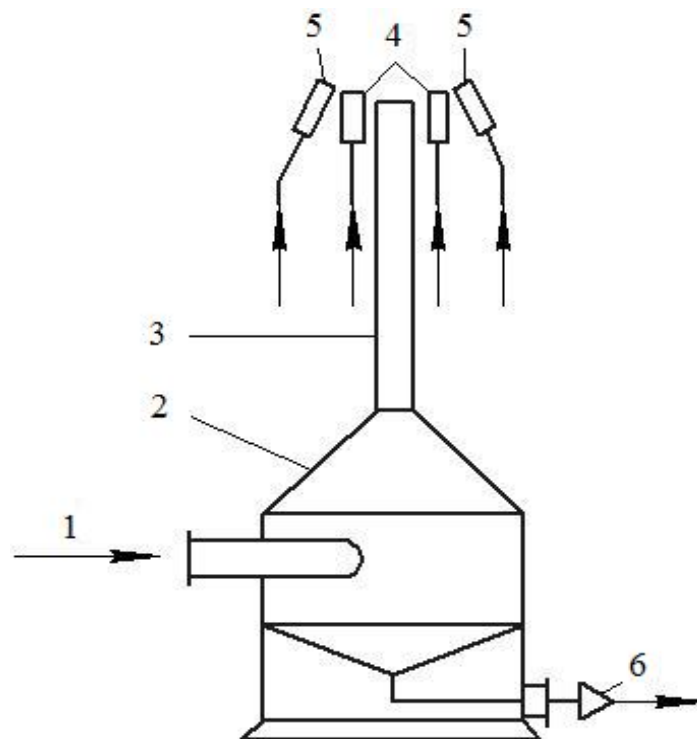


Рисунок 6.7 – Схема факельної установки:
1 – забруднені гази; 2 – сепаратор; 3 – факельна труба; 4 – чергові пальники; 5 – запальні пальники; 6 – гідрозатвор

В деяких випадках вихідні гази зі значним вмістом горючих компонентів можуть бути використані як паливо. Як самостійне паливо можуть застосовуватися вихідні гази з теплотворною здатністю 3,35...3,77 МДж/м³ і нижче, якщо вони мають підвищену температуру. Пряме спалювання газоподібних відходів з використанням додаткового палива вважають доцільним у випадках, коли знешкоджувані компоненти газових викидів можуть забезпечити не менше 50% загального тепловиділення. Проте звичайно вміст горючих домішок у вихідних газах значно менший нижньої границі запалювання, що викликає необхідність істотних витрат додаткового палива і утилізації тепла процесу спалювання з метою скорочення цих витрат.

Таблиця 6.2 – Температура запалювання найбільш розповсюджених горючих забруднювачів вихідних газів промисловості

Речовина	t °C	Речовина	t °C
Аміак	649	Метан	537
Ацетон	538	Метиловий спирт	470
Бензол	579	Метиловий ефір	350
Бутадиєн	449	Метилетилкетон	516
Бутиловий спирт	367	Нітробензол	496
Вінілацетат	426	Олеїнова кислота	363
Водень ціаністий	536	Пропан	468
Гліцерин	393	Пропілен	504
Дибутилфталат	404	Сірководень	260
Діхлорометан	640	Скипидар	253
Діхлороетилен	413	Стирол	491
Гас	254	Толуол	552
Крезол	559	Вуглецю оксид	652
Ксилол	496	Фенол	715
Фталевий ангідрид	564	Фурфурол	393
Фурфулоровий спирт	490	Хлоробензол	674
Циклогексан	266	Циклогексанон*	495
Епіхлорогідрин*	410	Етан	510
Етилацетат	486	Етилбензол	466
Етилену оксид	430	Етиленгліколь	413
Етиловий спирт	426	Етиловий ефір	186

* Наведена стандартна температура самозапалювання.

Розрахунки процесів термічного окислення виконують з метою визначення кількості додаткового газоподібного палива, необхідного для досягнення потрібної температури оброблення вихідних газів; об'єму газоподібних продуктів згоряння та об'єму камери згоряння.

Об'ємні витрати додаткового газоподібного палива $Q_{i\bar{a}}$, м³/с, залежать від кількості теплоти q_r , кДж/с, необхідної для підвищення температури газу, який обробляється, від початкової до температури згоряння (орієнтовно визначають зі значень ентальпії для повітря) і теплотворної здатності $q_R^{пр}$, кДж/м³, природного газу:

$$Q_{i\bar{a}} = q_r / q_R^{i\bar{a}}. \quad (6.15)$$

Сумарні витрати газоподібних продуктів в пристроях для допалювання визначають як суму об'ємних витрат продуктів згоряння, розраховану за стехіометрією реакції окислення, і об'ємних витрат газу, який обробляється.

Оптимальна швидкість газу, який проходить через сопло, що забезпечує найефективніше перемішування продуктів згоряння і забрудненого газу, повинна бути 4,5...7,5 м/с.

Діаметр камери згоряння визначають, виходячи з необхідності забезпечення достатнього часу перебування та інтенсивності турбулентності. Для пристроїв термічного окислення раціональний час перебування газу в камері згоряння знаходиться в межах 0,3...0,9 с.

6.5 Каталітичне очищення газів

Каталітичні методи є найперспективнішими для процесів очищення вихідних газів. Вони засновані на взаємодії шкідливих домішок з одним із компонентів, присутніх в очищуваному газі, й перетворенні їх в нейтральні речовини або в сполуки, які легко видаляються з газової суміші. Причому речовини, які беруть активну участь у хімічній реакції (каталізатори), залишаються незмінними після закінчення процесу. Перевага каталітичних процесів очищення в тому, що вони компактні, високопродуктивні, стабільно забезпечують високий ступінь очищення. До недоліків слід віднести високу вартість каталізаторів і неможливість утилізувати домішки з вихідних газів, які в більшості випадків розкладаються на нейтральні продукти і викидаються в атмосферу з вихідними газами.

Залежно від агрегатного стану речовин, які беруть участь в каталізі, каталітичні процеси поділяють на гомогенні та гетерогенні. Від виду каталізу залежить технологія очищення і вибір обладнання.

При гомогенному каталізі каталізатор і реагуючі речовини знаходяться в одній фазі, наприклад речовини знаходяться в різних фазах.

Звичайно при очищенні газів від домішок як каталізатори використовують тверді речовини.

Питання про те, які реакції й в присутності яких речовин можуть збуджуватися, залишається вирішеним не повністю, тому багато питань підбору каталізаторів і проведення каталізу до останнього часу вирішуються практично.

Як каталізатори можуть бути використані різні речовини як в чистому вигляді, так і у вигляді сполук, які не входячи в кінцеві продукти хімічної реакції, змінюють її швидкість. Промислові каталізатори повинні мати такі властивості:

- висока активність і селективність відносно даної реакції;
- велика хімічна стійкість до каталізаторних отрут;
- низька температура запалювання, великий температурний інтервал роботи, термічна стійкість і підвищена теплопровідність;
- висока механічна міцність;
- бути дешевими при виготовленні.

В більшості випадків каталізаторами можуть бути метали (платина, паладій та інші благородні метали) або їх сполуки (оксиди міді, марганцю тощо). Каталізаторна маса звичайно виконується у вигляді куль, кілець, пластин чи дроту, звитого в спіраль з ніхром, нікелю, окислу амонію з нанесеними на їх поверхню (соті частки відсотку до маси каталізатора) благородними металами. Наприклад, каталізатори, розроблені НІОГАЗом, дозволяють при температурі 350...420°C і швидкості знешкодження 30000...60000 год⁻¹ практично повністю можуть окисляти домішки етилену, пропілену, бутану, пропану, ацетальгиду, спиртів (метилового, етилового, пропилового тощо), ацетону, етилацетону, бензолу, толуолу, ксилолу та інших, виконані у вигляді ніхромового дроту 0,4...0,5 мм, звитого в спіраль діаметром 4...5 мм з нанесеними на поверхню у вигляді активної плівки з платини і паладію.

Сучасні контактні апарати, які використовуються для проведення каталітичних процесів в промисловості, повинні бути високопродуктивними, забезпечувати безперервність процесу при оптимальних технологічних процесах, бути легкими в управлінні, піддаватися автоматизації та управлінню за допомогою ЕОМ.

За способом взаємодії газів з каталізатором контактні апарати поділяються на апарати:

- з фільтрувальним шаром каталізатора;
- з завислим (киплячим) шаром каталізатора;
- з пиловидним каталізатором.

6.5.1 Апарати з фільтрувальним шаром каталізатора

На рис. 6.8 наведені схеми контактних апаратів, принцип дії яких заснований на фільтруванні газів через шар нерухомого каталізатора. На цьому принципі й заснована робота більшості контактних апаратів.

Причому каталізатор може виготовлятися у вигляді металевих сіток, натягнутих за ходом руху газу (рис. 6.8, а), трубчастих контактних апаратів (рис. 6.8, б) або у вигляді твердих тіл різної форми, розташованих на перфорованих решітках (рис. 6.8, в).

Гази надходять в апарат зверху або знизу. При поданні газу знизу (під решітку) його швидкість не повинна перевищувати швидкість псевдозрідження каталізатора, тому що він може переходити в завислий стан. Позитивною якістю апаратів є простота конструкції, недоліком – відсутність теплообміну, що дозволяє в них проводити тільки ті реакції, які супроводжуються невеликими тепловими ефектами.

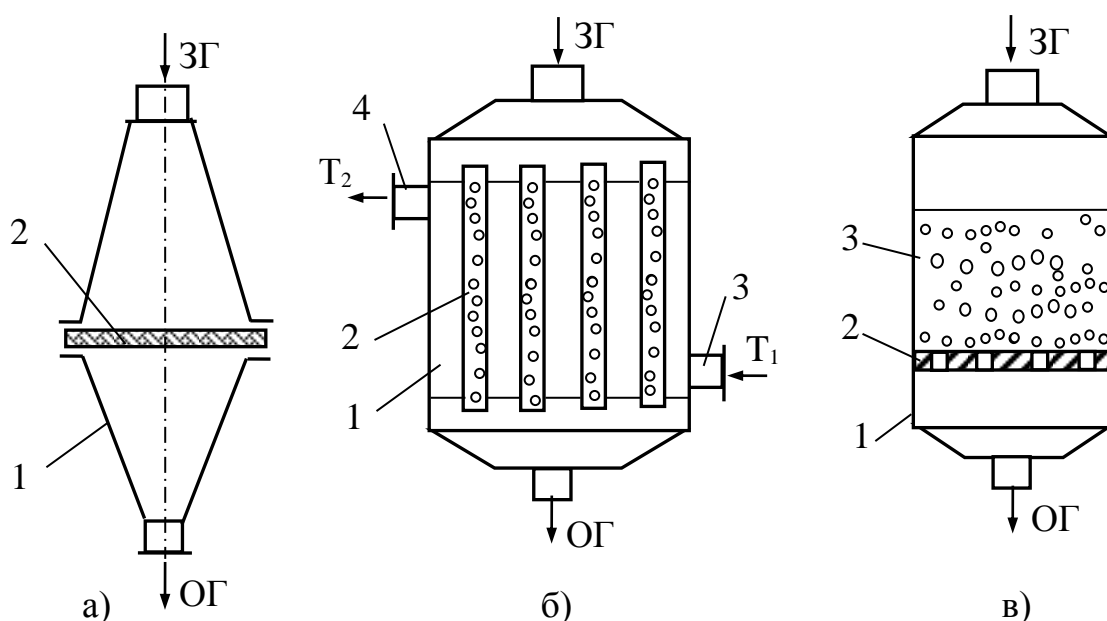


Рисунок 6.8 – Схеми контактних апаратів:

а) з металевою сіткою 2; б) з трубчастим каталізатором 2; в) з насипним шаром 3; T_1 , T_2 – теплоносії

Для повноти протікання процесу в одному апараті може бути встановлено декілька шарів контактної маси (рис. 6.9). Багатошарові полицні контактні апарати найчастіше встановлюють, коли необхідно газ, який очищається, між шарами піддавати додатковому обробленню (нагріванню, охолодженню, зволоженню тощо). Нагрівання чи охолодження газу проводять за допомогою теплоносіїв, вмонтованих всередині апарата між шарами каталізатора. Це дозволяє здійснювати процес при оптимальному температурному режимі на кожній полиці. Для цієї ж мети застосовують трубчасті контактні апарати, де в трубках розташований каталізатор, а в міжтрубному просторі – теплоносій чи холодоагент.

Залежно від функціонального призначення контактні апарати з фільтрувальним шаром каталізатора мають декілька варіантів конструктивного виконання:

- реактори каталітичні з твердим каталізатором, розташованим в окремому корпусі (тип Ц);
- реактори термокаталітичні, в яких у загальному корпусі розташовані контактний вузол і підігрівник (тип ТК);
- реактори термокаталітичні, в яких у загальному корпусі розташовані контактний вузол і рекуператор тепла (тип КВ);
- реактори термокаталітичні, в яких у загальному корпусі розташовані підігрівник, контактний вузол і рекуператор тепла (тип ТКВ).

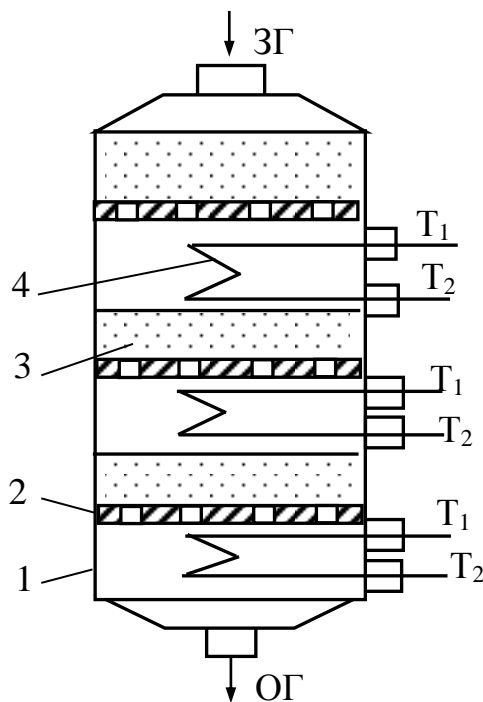


Рисунок 6.9 – Багатоповітряний контактний апарат:

1 – корпус; 2 – решітка; 3 – каталізатор; 4 – теплообмінники, які змонтовані між шарами каталізатора

Характерним представником каталітичних реакторів типу К є каталітичний реактор, розроблений Дзержинським філіалом НІОГазу. Каталізатор розташований в двох коаксіальних корзинах (рис. 6.10). Апарат відзначається великою питомою продуктивністю, малою металоємністю і простотою обслуговування, тому що завантаження і вивантаження каталізатора здійснюється без розбирання апарата.

В термокаталітичному реакторі типу ТК в одному корпусі знаходяться контактний вузол і підігрівач, що зменшує їх габарити, металоємність, спрощує виготовлення і обслуговування. Реактор,

наведений на рис. 6.11, розроблений у Німеччині. Він виконаний у вигляді насадки, яка надягається на верхню частину труби. В насадці використаний сотовий каталізатор 2 і підведений пальник 1 для підігрівання газу. Для кращого змішування газу в корпусі встановлений змішувач 3.

Термокаталітичний реактор з пристроєм для рекуперації тепла, розроблений у Німеччині, наведений на рис. 6.12. Тут в одному корпусі розташовані контактний вузол 1 і рекуператор тепла 2 з клапаном аварійного скидання 3.

Газ, який підлягає очищенню, проходить міжтрубний простір рекуператора, де підігрівається, змішується з гарячим повітрям чи газами, які підігріваються у виносному нагрівачі до температури початку реакції, і надходить в каталізаторний блок. Очищений газ проходить патрубками рекуператора, віддає тепло свіжому газу, після чого викидається в атмосферу. Апарати випускаються п'яти типорозмірів продуктивністю від 5 до 25 тис. м³/год.

Найчастіше в промисловості використовуються сучасні термокаталітичні реактори типу ТКВ, в яких в одному корпусі розташовані контактний вузол, підігрівач і рекуператор. На рис. 6.13 наведена схема реактора, розробленого проектним бюро охорони атмосфери „ПРОАТ” (Польща).

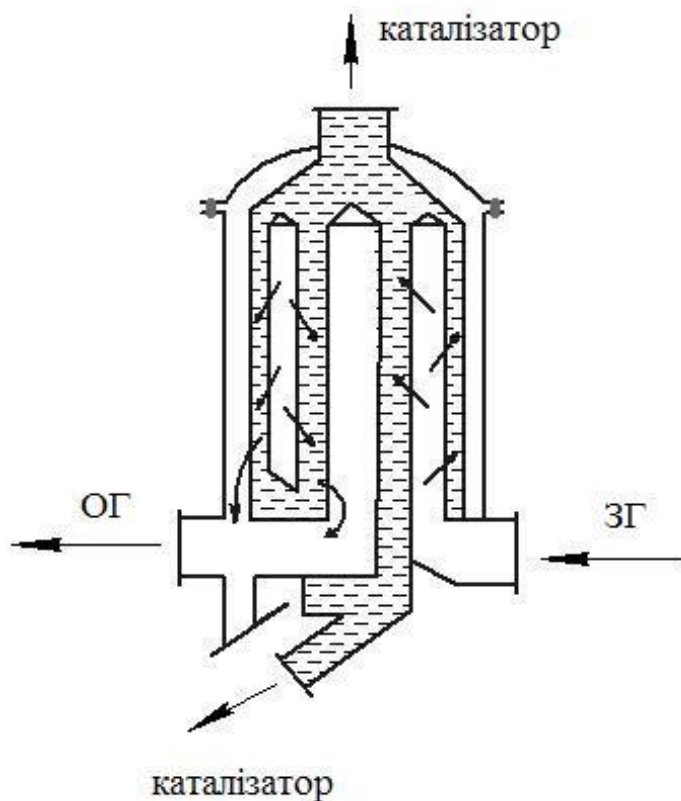


Рисунок 6.10 – Реактор з двошаровою корзиною

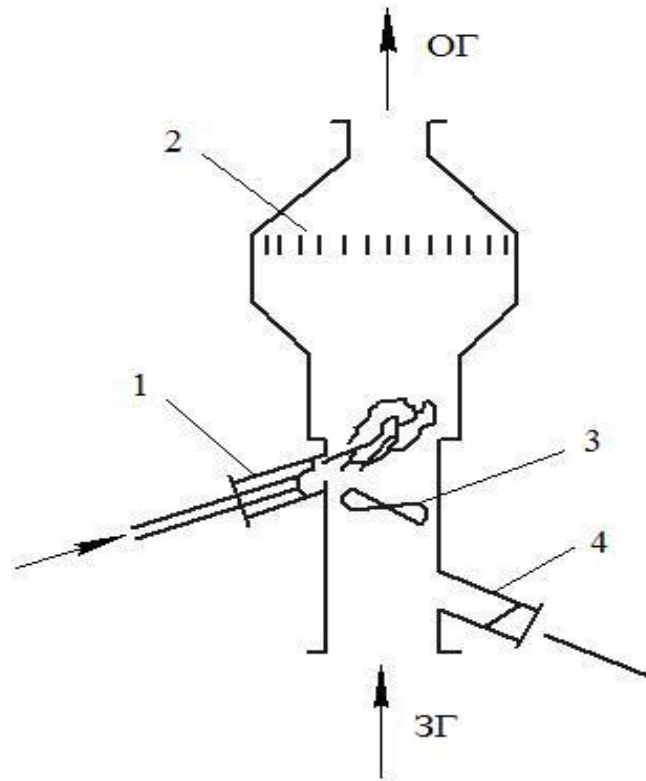


Рисунок 6.11 – Конструкція реактора типу ТК (фірма „W.C.”, Німеччина):
 1 – пальник; 2 – сотовий каталізатор; 3 – змішувач; 4 – патрубок
 підведення повітря на розрідження

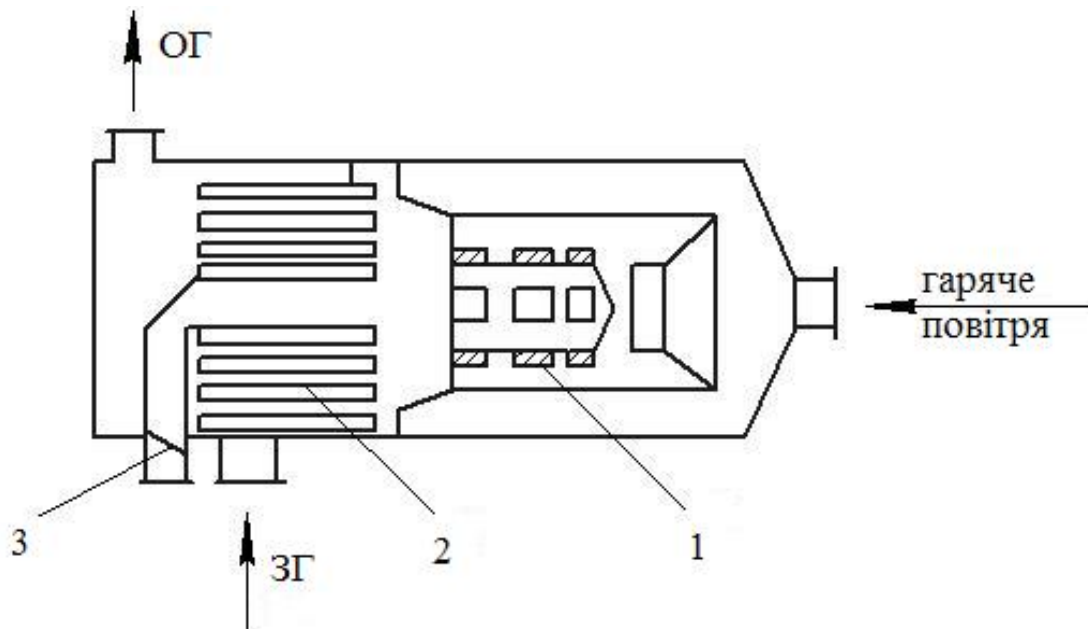


Рисунок 6.12 – Реактор типу KB (Німеччина):
 1 – контактний вузол; 2 – рекуператор тепла; 3 – клапан аварійний

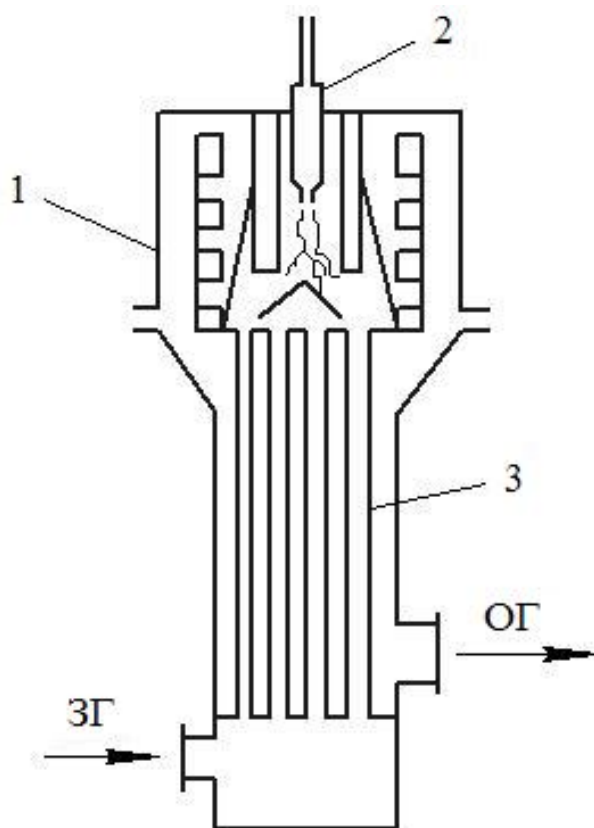


Рисунок 6.13 – Термокаталітичний реактор середньої потужності (Польща): 1 – касети з каталізатором; 2 – пальник; 3 – теплообмінник

Забруднені гази надходять у трубчастий простір теплообмінника 3, підігріваються за допомогою пальника 2, змішуючись з газами, утвореними при спалюванні палива, після чого проходять через каталізатор 1, де відбувається розкладання домішок на нейтральні продукти. Очищений газ проходить міжтрубний простір теплообмінника, віддаючи тепло свіжому газу, і викидається в атмосферу.

6.5.2 Апарати з завислим (киплячим) шаром каталізатора

Якщо використовувати принцип фільтрувального шару каталізатора, то в шарі, в місцях дотику гранул каталізатора спостерігаються зони, які погано обтікаються газами. Для ліквідації цього недоліку з метою інтенсифікації каталітичних процесів застосовують киплячий шар, в якому кожна гранула каталізатора інтенсивно зі всіх сторін обтікається газом, який інтенсифікує процес каталізу.

Перевагою такого апарата є те, що інтенсивне перемішування частинок обумовлює хорошу теплопровідність шару і високі коефіцієнти тепловіддачі від шару до поверхні теплообмінників, які часто монтуються безпосередньо в киплячому шарі. Рухомість киплячого шару каталізатора дозволяє механізувати і автоматизувати процеси безперервного завантаження і вивантаження каталізатора, підтримування висоти шару на постійному рівні тощо. Інтенсивне перемішування твердої фази усуває

небезпеку локального перегрівання чи переохолодження каталізатора, що сприяє більш ефективному його використанню. З'являється можливість застосовувати каталізатор з гранулами малих розмірів, що збільшує питому поверхню і знижує дифузійні гальмування при каталізі. Завдяки вказаним перевагам киплячий шар у ряді випадків є ефективнішим порівняно з фільтрувальним шаром.

До недоліків киплячого шару необхідно віднести стирання і винесення пиловидного каталізатора з апарата, що вимагає встановлення пиловловлювальних пристроїв. Різний час перебування частинок в апараті при безперервному процесі знижує ефективність роботи каталізатора. До недоліків необхідно віднести також підвищену ерозію апаратури, розташованої в зоні киплячого шару.

Перераховані недоліки, як правило, не є визначними, а багато з них можуть бути частково або повністю усунені.

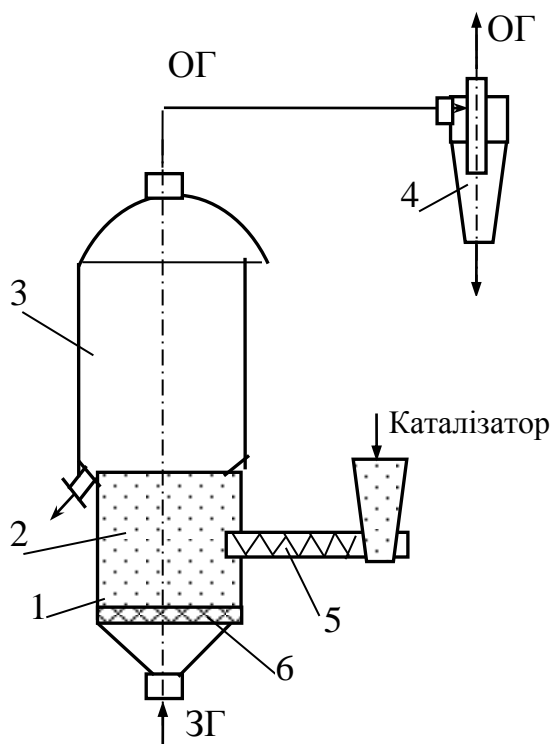


Рисунок 6.14 – Контактний апарат з киплячим шаром каталізатора:
 1 – корпус циліндричний; 2 – каталізатор; 3 – верхня частина апарата;
 4 – циклон; 5 – шнековий пристрій; 6 – решітка

Апарати з киплячим шаром каталізатора виготовляють у вигляді циліндра 1 (рис. 6.14), в нижній частині якого встановлена газорозподільна решітка 6. На решітку завантажують дрібнозернистий каталізатор 2 з діаметром частинок 0,5...1,5 мм. Знизу, під решітку, подається забруднений газ, швидкість якого повинна забезпечити перехід шару з нерухомого в

псевдозріджений стан. Очищений газ виводиться з апарата через верхній штуцер і, пройшовши циклон 4, викидається в атмосферу. Завантаження каталізатора здійснюється за допомогою шнекового пристрою 5. Для зниження виносу дрібних частинок каталізатора верхня частина апарата 3 виконується розширеною.

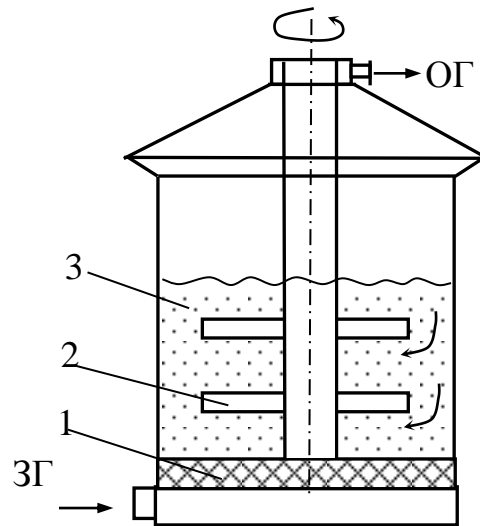


Рисунок 6.15 – Каталітичний реактор з киплячим шаром і мішалкою:
1 – газорозподільна решітка; 2 – мішалка; 3 – шар каталізатора

За режимом роботи апарат з киплячим шаром каталізатора наближається до реакторів повного змішування. При такому режимі будь-який елементарний об'єм суміші миттю перемішується в шарі і концентрація компонентів у всіх точках шару однакова. А час перебування частинок в шарі змінюється від нуля до нескінченності, що є недоліком всіх безперервних процесів повного змішування.

Для упорядкованого переміщення твердої фази в киплячому шарі деколи вводять механічні мішалки, що сприяє осередненню часу перебування частинок в апараті. Для збільшення ступеня очищення газів використовують багатополічні апарати з киплячим шаром.

6.5.3 Апарати з пиловидним каталізатором

Апарати з пиловидним каталізатором застосовуються з метою інтенсифікації процесів очищення. В цих апаратах використовується каталізатор у вигляді дрібних частинок, які за допомогою спеціальних сопел розпилюються у всьому об'ємі апарата. Цим досягається повніше використання реакційного об'єму апарата.

Схема реактора з пиловидним каталізатором наведена на рис. 6.16. Апарат складається з циліндричного корпусу 1, в нижній частині якого розташовані сопла 6 і бункери 4. Газ, який підлягає очищенню, поділяється на два потоки. Один потік надходить в ежектор (струменевий насос), який змішує з каталізатором і під напором подає суміш в реактор.

Сюди ж через друге сопло подається другий потік газу, який сприяє повнішому і рівномірному перемішуванню газу з каталізатором. Частинки каталізатора, знаходячись в завислому стані, зі всіх сторін інтенсивно обтікаються газовим потоком, завдяки чому каталітичний процес інтенсифікується. Реакція протікає в той час, коли частинки каталізатора знаходяться в польоті. Осілі частинки каталізатора збираються в нижній частині апарата і знову надходять в ежектор для повторного використання або на регенерацію. Більшість частинок каталізатора виноситься з газовим потоком. Вловлювання частинок каталізатора здійснюється в циклоні 3, після чого вони знов змішуються з газом і повертаються в реактор.

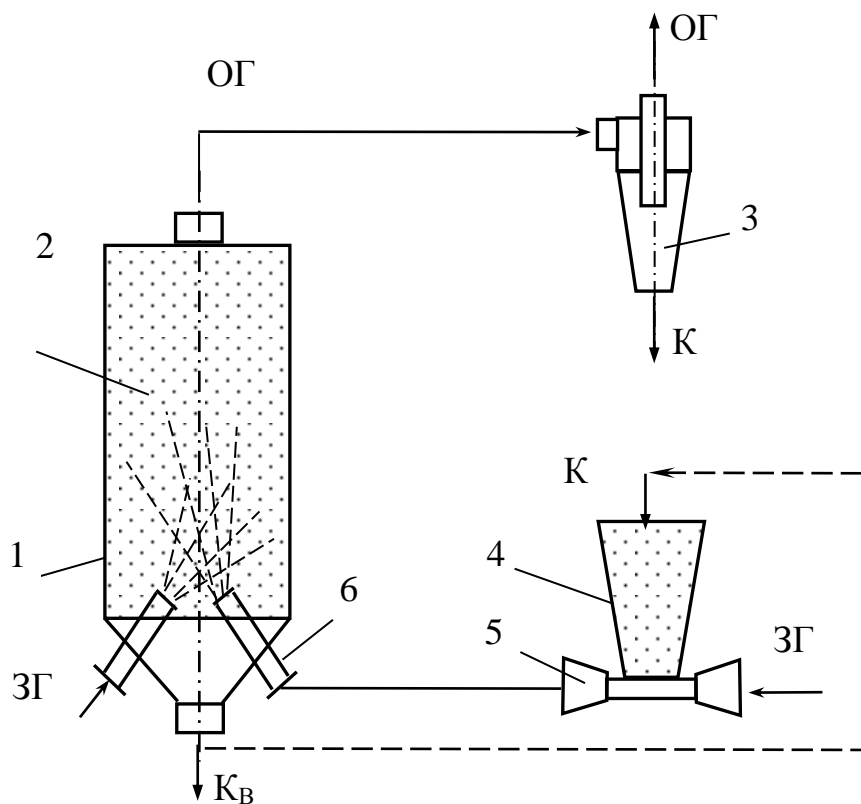


Рисунок 6.16 – Каталітичний реактор з пиловидним каталізатором:
 1 – циліндричний корпус, в нижній частині якого розміщені сопла 6 та бункер 4; 2 – каталізатор; 3 – циклон; 5 – ежекторний пристрій;
 К – свіжий каталізатор; K_a – відпрацьований каталізатор

6.5.4 Розрахунок контактних апаратів з завислим шаром каталізатора

Розрахунок контактних апаратів зводиться до визначення гідродинамічних, масообмінних і геометричних характеристик. Найбільш важливими гідродинамічними характеристиками є швидкість псевдозрідження і гідравлічний опір апарата. Головною масообмінною

характеристикою є коефіцієнт масопередачі, на основі якого визначають необхідну кількість каталізатора. Визначивши гідродинамічні та масообмінні характеристики, можна розрахувати геометричні розміри реакторів.

Швидкість початку псевдозрідження $v_{i\zeta}$, м/с, визначається за формулою:

$$v_{i\zeta} = \frac{Ra_{i\zeta}^{\circ} \cdot \mu}{d_{\zeta} \cdot \rho}, \quad (6.16)$$

де μ – динамічна в'язкість газу, Па · с;

d_{ζ} – діаметр частинок, м;

ρ – густина газу, кг/м³;

$Ra_{i\zeta}^{\circ}$ – модифікований критерій Рейнольдса, безрозмірна величина;

$$Ra_{i\zeta}^{\circ} = \frac{A_2}{150 \frac{1-\varepsilon_0}{\varepsilon_0^3} + \sqrt{1,75 \frac{\sqrt{Ar}}{\varepsilon_0^3}}}, \quad (6.17)$$

де ε_0 – порожнистість статичного шару

$$\varepsilon_0 = \frac{1-\rho_i}{\rho_0}, \quad (6.18)$$

де ρ_i – насипна густина поглинача, кг/м³;

ρ_0 – уявна густина поглинача, кг/м³;

В окремому випадку, коли $\varepsilon_0 = 0,4$, формула (6.17) буде мати вигляд

$$Ra_{i\zeta}^{\circ} = \frac{Ar \cdot \varepsilon_{i\zeta}^{4,75}}{18 + 0,6 \sqrt{Ar \cdot \varepsilon_{i\zeta}^{4,75}}}, \quad (6.19)$$

де Ar – критерій Архімеда (безрозмірна величина)

$$Ar = \frac{d_2^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot \rho_{\zeta} - \rho}{\mu^2}, \quad (6.20)$$

де ρ_{ζ} – густина частинок, кг/м³.

Підставивши величину $Ra_{i\zeta}$, знайдену за формулою (6.17), у формулу (6.16), можна знайти швидкість початку псевдозрідження при будь-якому значенні порожнистості киплячого шару. Швидкість витання v_a , м/с, при якій відбувається руйнування шару і масове винесення частинок, визначають за формулами:

- в перехідній області ($2 < Ra < 500$)

$$V_a = 0,78 \frac{d_{\pm}^{0,43} (\rho_{\pm} - \rho)^{0,715}}{\rho^{0,285} \cdot \mu^{0,43}}, \quad (6.21)$$

- в автомодельній області ($Ra < 500$)

$$v_a = 5,46 \sqrt{\frac{d_{\pm} (\rho_{\pm} - \rho)}{\rho}}. \quad (6.22)$$

Для розрахунків може бути використана також інтерполяційна залежність, яка зв'язує критерії Re і Ar для всіх режимів:

$$Re_B = \frac{A_{\pm}}{18 + 0,575 \sqrt{Ar}}. \quad (6.23)$$

Підставляючи значення Re у формулу (6.16), отримуємо швидкість витання в будь-якому режимі.

Значення робочої швидкості v повинно бути більшим швидкості початку псевдозрідження, але не меншим швидкості витання v_a .

Відношення робочої швидкості газу до швидкості псевдозрідження називають числом псевдозрідження K_v

$$K_v = \frac{v}{v_a}. \quad (6.24)$$

Опір киплячого шару каталізатора ΔP , Па, знаходиться за формулою:

$$\Delta P = \lambda \frac{H_i}{d_3} \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon_0)}{\varepsilon_0^3} \cdot \varphi_0, \quad (6.25)$$

де λ – коефіцієнт тертя;

φ_0 – коефіцієнт форми частинок;

\dot{I}_i – висота шару насадки, м.

Значення коефіцієнта форми залежить від форми, матеріалу і розміру частинок й визначається експериментально за даними табл. 6.3.

Значення λ знаходимо з формул:

при $Re \leq 35$ $\lambda = 200Re$; (6.26)

при $70 \leq Re \leq 7000$ $\lambda = 11,6 / \sqrt[4]{Re}$. (6.27)

Є й друга залежність для визначення опору киплячого шару ΔP , Па:

$$\Delta P = \frac{3}{2} \cdot \frac{1 - \varepsilon_{\text{нб}}}{\varepsilon_{\text{нб}}^3 \cdot \varphi_{\delta}} \cdot \frac{133}{Ra} + 2,34 \frac{\dot{I}_i \cdot \rho \cdot v^2}{d_e \cdot 2}, \quad (6.28)$$

де $\varepsilon_{\text{нб}}$ – середня порожнистість киплячого шару ($\varepsilon_{\text{нб}} \approx 0,4-0,6$)

$$Ra = \frac{2}{3} \cdot \frac{\varphi_{\delta}}{1 - \varepsilon_{\text{нб}}} \cdot \frac{v \cdot d_e \cdot \rho}{\mu} \quad (6.29)$$

Необхідний об'єм V_{ε} , м³, каталізатора можна визначити за формулою:

$$V_{\varepsilon} = \frac{R \cdot T \cdot \sigma \cdot \ln \frac{P_n}{P_{\varepsilon}}}{\beta_y \cdot S_0 (P_n - P_k)}, \quad (6.30)$$

де σ – кількість домішок в суміші;

P_i , P_{ε} – парціальні тиски газу на вході і виході з апарата, кг/м³;

S_0 – питома зовнішня площа поверхонь зерен в одиниці об'єму каталізатора, м²/м³,

Таблиця 6.3 – Значення коефіцієнта форми частинок

Матеріал	d_3 , мм	φ_{δ}
Силікагель	0,18	6,3
	0,25	3,05
	0,296	5,5
	2,5	5,46
	3,5	3,7
	4,5	7,05
Алюмосилікагель	0,4	1,79
	0,45	4,1

$$S_0 = (1 - \varepsilon_0) \cdot S^1 / V^1. \quad (6.31)$$

де S^1 – площа поверхні одного зерна, m^2 ;

V^1 – об'єм одного зерна, m^3 .

Для частинок каталізатора сферичної форми і циліндрів з висотою, рівною діаметру, питома зовнішня поверхня зерен рівна

$$S_0 = (1 - \varepsilon_0) \cdot 6/d_{\frac{1}{2}}, \quad (6.32)$$

β_6 – коефіцієнт масопередачі, $m/\text{год}$, знаходять експериментальним шляхом залежно від природи реагуювальних речовин, природи каталізатора і умов каталізу.

Максимальна об'ємна швидкість газу V_{\max} , год^{-1}

$$V_{\max} = \frac{V_{\frac{1}{2}}}{V_k}. \quad (6.33)$$

Для забезпечення довгої і стійкої роботи каталізатора розраховане значення об'ємної швидкості газу доцільно зменшити в 1,5...2 рази.

Діаметр реактора:

$$D = \sqrt{\frac{4}{0,785 \cdot V^2}}. \quad (6.34)$$

Площа поперечного перерізу апарата:

$$S = D^2 \cdot \frac{\pi}{4}. \quad (6.35)$$

Знаючи об'єм каталізатора V_{ε} і площу поперечного перерізу апарата S , знаходимо статичну висоту нерухомого шару каталізатора:

$$H_i = V_{\varepsilon} / S. \quad (6.36)$$

Швидкість газового потоку впливає на розширення шару і його висоту. Підвищення швидкості приводить до збільшення висоти шару. Характерною величиною є:

$$H_i = H_{i\zeta} / H_i, \quad (6.37)$$

де H_i – питома висота шару.

На рис. 6.17 наведена залежність питомої висоти шару від відношення швидкості витання до швидкості початку псевдозрідження.

Визначивши за графіком питому висоту шару, знаходимо висоту псевдозрідженого шару.

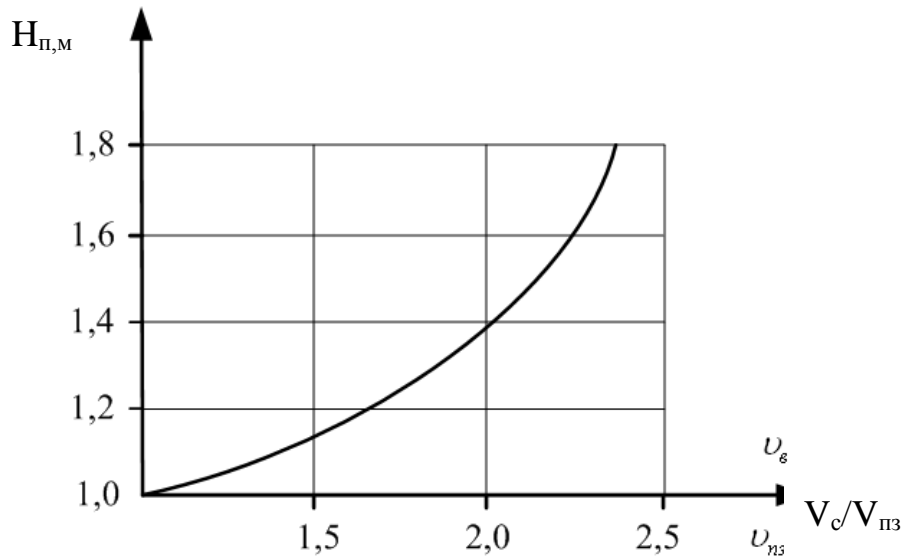


Рисунок 6.17 – Залежність питомої висоти киплячого шару від величини $V_a/V_{i\phi}$

6.6 Біохімічні реактори

Пристрої для біохімічного очищення газів поділяються на дві групи: біологічні фільтри і біоскрубери.

Біологічні фільтри прості за конструкцією і їх експлуатація не пов'язана з великими капіталовкладеннями. Найпростіший біофільтр – це ємність в землі, в якій під шар фільтрувального матеріалу (земля, торф, компост тощо) подають потік газу, який очищається. Схема такого біофільтра, спорудженого для дезодорації повітря на одному з підприємств для перероблення твердих відходів (Німеччина), наведена на рис. 6.18.

Ширина підвалини відкритої в землі ємності трапецевидної форми 5 м, глибина 3 м. Повітря, яке очищається, надходить через дві перфоровані бетонні труби, укладені на дні ємності, кожна на відстані 1,25 м від центра. Труби засипають шаром (1,1 м) шлаку зернистістю 0,05 м, зверху якого наносять шари великого просіяного (0,1 м) компосту і фільтрувального свіжого (1,6 м) компосту. Продуктивність фільтра для газу, який очищається, складає 10000 м³/год.

Ефективність біофільтра подібного типу невисока, поверхня контакту фаз незначна, а гідравлічний опір може бути занадто великим.

Частково усунути ці недоліки вдалося конструкторам (Нідерланди) біореактора, призначеного для тонкого очищення вентиляційного повітря виробничих приміщень (рис. 6.19). Фільтрувальний шар в апараті утворений насадкою „Полінет” – системою полівінілхлоридних перфорованих трубок (18600 шт/м³) діаметром 0,026 м і довжиною 0,065 м.

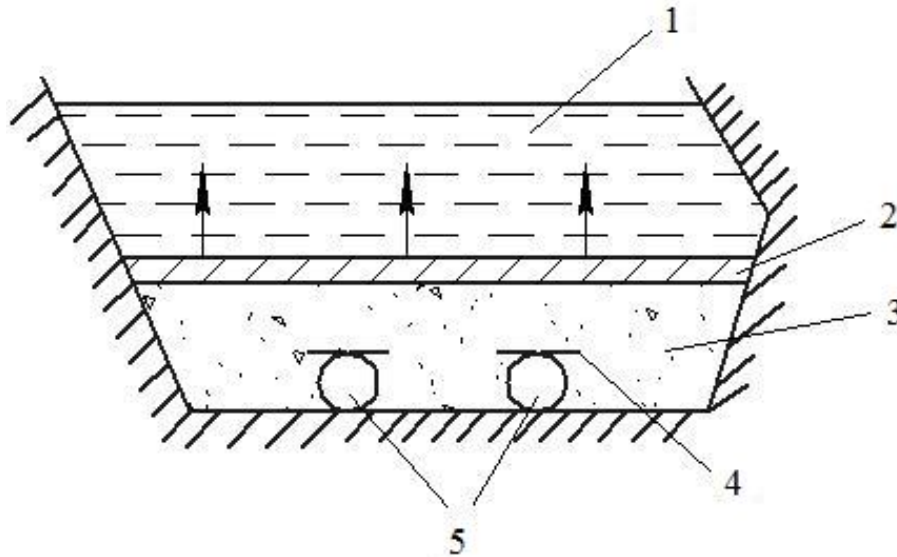


Рисунок 6.18 – Біофільтр для дезодорації повітря (Німеччина):
1 – свіжий компост; 2 – просіяний великий компост; 3 – великий шлак; 4 – картон, насичений бітумом; 5 – перфоровані бетонні труби

Питома поверхня насадки 91 м²/м³, товщина робочої біоплівки (1,5...2,0) · 10⁻³ м. Лінійна швидкість повітря, яке очищається, (0,5...1,0) м/с, густина зрошення 5 м³/(м² · год), тривалість контакту 0,5 с. Габаритні розміри установки: висота 1,55 м. Продуктивність 300 м³/год. Очищення внутрішніх пристроїв здійснюють промиванням під високим тиском.

Ступінь очищення від газових домішок в біофільтрах з насадкою „Полінет” складає 70...95%, а залишковий вміст пилу не перевищує 5 мг/м³.

В біоскруберах витягнені із газів компоненти розкладаються при контактуванні їх з суспензією активного мулу, для чого можна використовувати скрубери найрізноманітнішої конструкції.

Фірма „Керамхемі” (Німеччина) розробила біоскруберну установку газоочищення вихідних газів при виробництві кераміки (рис. 6.20).

Вихідні гази надходять на очищення в двоступеневий насадковий абсорбер 1, перший ступінь якого зрошується слабкою кислотою суспензією активного мулу і служить для вловлювання основних органічних і неорганічних домішок, а другий ступінь зрошується слаболужною суспензією активного мулу. рН середовища регулюють автоматично

додаванням 20%-го розчину сірчаної кислоти чи гідроксиду натрію. На обох ступенях поглинач підживлюють фосфатом. Для компенсації втрат води при випаровуванні подають свіжу воду в об'ємі 0,2...1,2 м³/год.

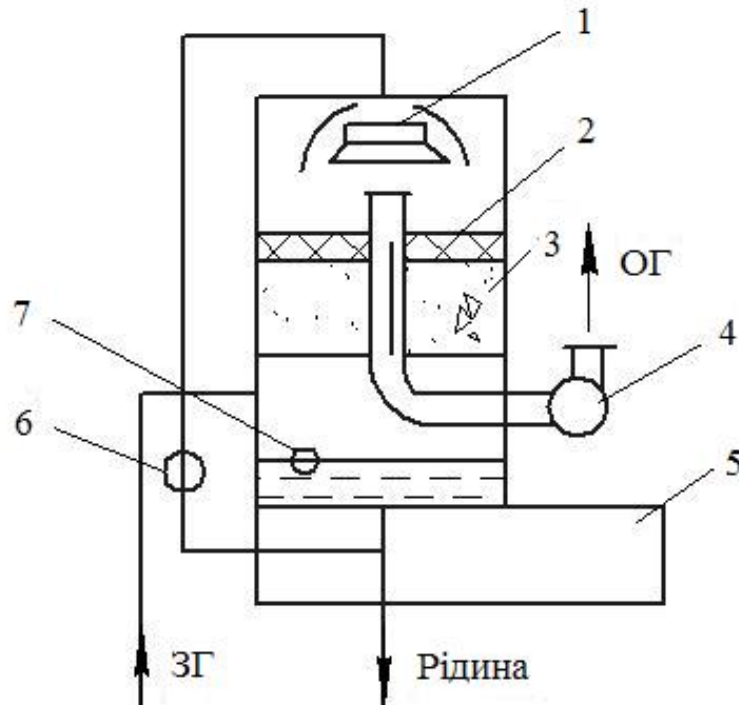


Рисунок 6.19 – Біореактор тонкого очищення з насадкою „Полінет”:
 1 – водозливна тарілка; 2 – розподільна плита; 3 – насадка;
 4 – вентилятор; 5 – опорна арматура; 6 – насос;
 7 – поплавова водопровідна лінія

У відстійники 3 зі скрубера надходить 0,2 м³/год суспензії активного мулу, з яких 0,1 м³/год повертають на установку. Частина освітленої рідини постійно скидають, щоб запобігти накопиченню солей, які пригнічують розвиток мікроорганізмів. У неробочі періоди активний мул підживлюють конденсатом з вмістом 9000 мг БПК, аерацію здійснюють вентилятори. Технічна характеристика установки наведена в табл. 6.4.

Щорічна економія на експлуатаційних витратах при роботі даної установки порівняно з очищенням газів у звичайних абсорберах оцінюється в 10...20 тис. марок.

Ряд цікавих нововведень у систему біохімічного очищення аспіраційних газів внесли конструктори фірми „Фудеі касуй кото” (Японія). *По-перше*, для стабілізації дії активного мулу і поліпшення процесу його регенерації до суспензії додають активоване вугілля. *По-друге*, в установках очищення використовують активний мул із станцій очищення стічних вод тих же підприємств, які роблять роботу установок безвідходною (рис. 6.21).

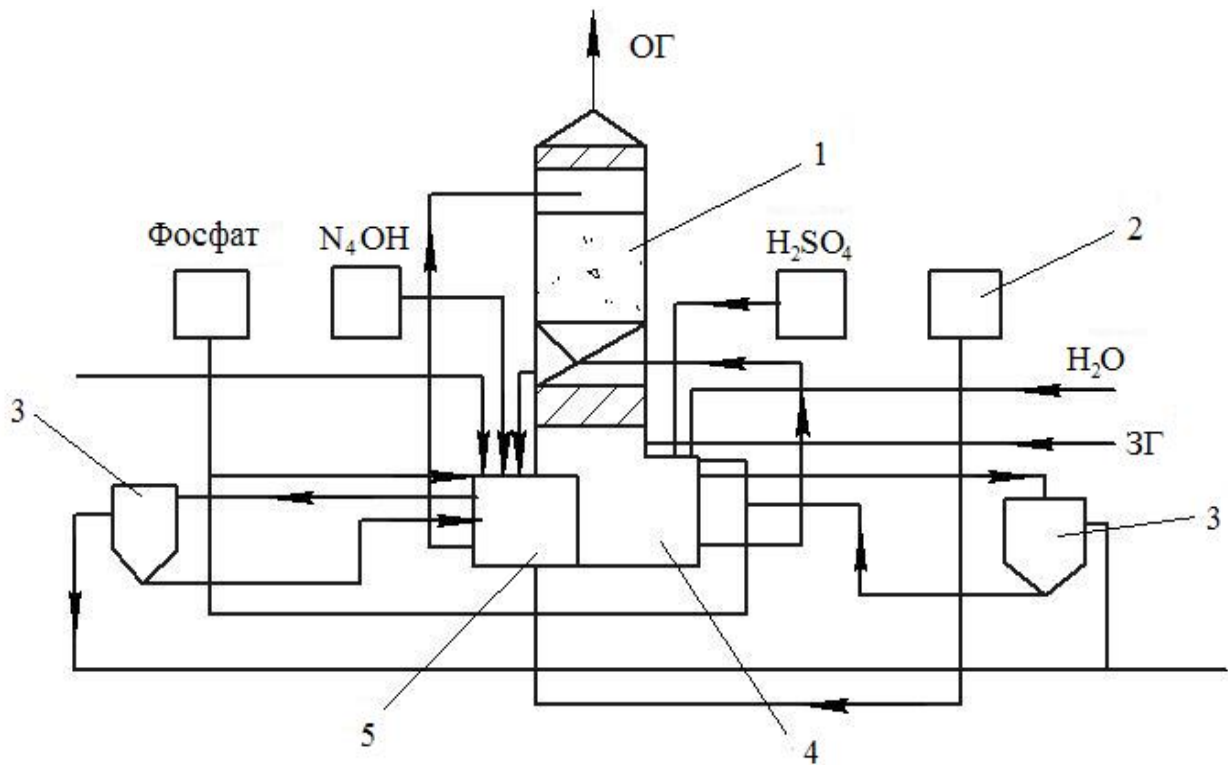


Рисунок 6.20 – Схема біоскруберної установки „Керамхемі” (Німеччина):
 1 – насадочний абсорбер; 2 – ємність для живильних речовин;
 3 – відстійники; 4 – ємність для кислотного оброблення;
 5 – ємність для лужного оброблення

Повітря з колектора аспіраційних газів попередньо знепилюють в циклоні, після чого подають в реактор 1 з барботажним скруббером 2, де відбувається тонке очищення суспензією активного мулу.

Концентрацію активованого вугілля підтримують постійною шляхом внесення відповідних доз вугілля при заміні активованого мулу, який обновлюють 1 раз на добу (в кількості 5 м³). Використаний активний мул обробляють на вмонтованій віджимній центрифугі. Оскільки газ, який очищається, вміщує аміак, в суспензію як живильну речовину додають дешеву фосфорну кислоту.

Установку виводять на робочий режим протягом 20 діб з потенціальним збільшенням часу добової експлуатації до розрахункових 17 год. Формальдегід в поглиначі не виявляється вже з моменту експлуатації, концентрація фенолу починає зменшуватися через 20 діб, а через 45 діб він повністю зникає. ХПК поглинача через 60 діб після початку експлуатації 200...250 мг/л. Аерацію реактора проводять повітродувкою під час перерв у роботі. Технічна характеристика установки наведена в табл. 6.5.

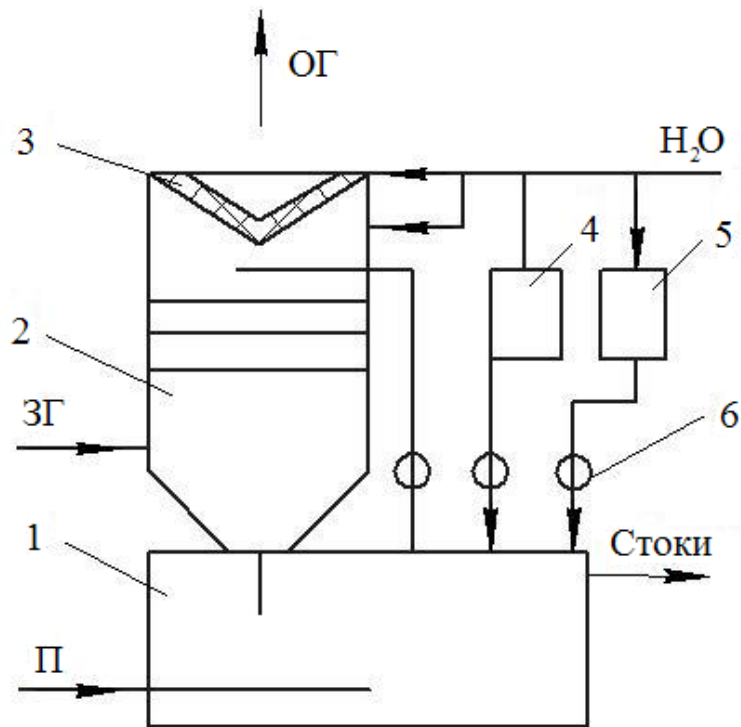


Рисунок 6.21 – Схема установки для очищення аспіраційних газів стічними водами (Японія): 1 – реактор; 2 – абсорбер; 3 – краплеуловлювач; 4 – ємність для активованого вугілля; 5 – ємність для живильних речовин; 6 – насоси

Таблиця 6.4 – Технічна характеристика біоскруберної установки „Керамхеми” (Німеччина)

Параметр	Величина
Продуктивність, м ³ /год	40000
Температура газу, °С	35
Тривалість контакту, с	4
рН поглиначя:	
перший ступінь	5...6
другий ступінь	8...9
Витрати, кг/год:	
H ₂ SO ₄ (100 %-й)	2,0
NaOH (100 %-й)	0,1
Вміст речовин в освітленій частині поглиначя, мг O ₂ /л:	
ХПК	20...40
БПК	5...10
Гідралічний опір, Па	1200
Питомі витрати електроенергії, кВт·год/м ³	1,6·10 ⁻³
Питомі капітальні вкладення, марки / м ³ ·год	6,5

Ступінь дезодорації складає 98...99%, ступінь очищення: для фенолу – 93%, формальдегіду – 96%, аміаку – 98%. Ступінь розкладання вилучених речовин в розрахунку на ХСК 96...97%.

Біохімічне очищення може базуватися на типовій апаратурі хімічної технології. До такої апаратури відносяться, наприклад, скрубери, а також аеротенки і окситенки. Це дозволяє використовувати при розрахунках біохімічних реакторів ті ж методи, що і при проектуванні та конструюванні типової хімічної апаратури [1, 3, 48] з урахуванням кінетики біохімічних реакцій.

Таблиця 6.5 – Технічна характеристика установки для очищення аспіраційних газів стічними водами (Японія)

Параметр	Величина
Продуктивність, м ³ /год	126000
Температура газу, °С	10...35
Концентрація в поглиначі, мг/л: завислих речовин активованого вугілля	5000...7000 500...1000
Витрати, кг/місяць: фосфорної кислоти порошкоподібного активованого вугілля технічної води, м ³ /місяць	50 135 210
Експлуатаційні витрати, ієн/день: загальні на електроенергію	35805 31950

6.7 Гідрофільтри

Гідрофільтри широко застосовуються в промисловості, особливо при вловлюванні аерозолів фарб, гідрофільтри, основними конструктивними елементами яких є: зрошуваний повітровід, зрошувальні пристрої (переливні лотки, перфоровані труби або форсунки), краплеуловлювач і відстійник. Характеристики гідрофільтра (ефективність вловлювання і аеродинамічний опір) залежать від конфігурації зрошувального пристрою.

Існують гідрофільтри різної конструкції, але найрозповсюдженіші форсункові, каскадні та ударно-струминні. У форсунковому гідрофільтрі (рис. 6.22, а) повітровід, через який рухається забруднене повітря, обладнаний форсунками, які подають дисперговану воду. Цей тип гідрофільтра ефективний, але вимагає великих витрат води, тому що використання оборотної рідини виключено.

Каскадні гідрофільтри (рис. 6.22, б, в) вміщують у повітроводах похилі лабіринти і перегородки. Вода подається через перфоровані труби

на верхні перегородки і стікає на ті, які лежать нижче, утворюючи водяні завіси на шляху руху забрудненого повітря. В деяких типах каскадних фільтрів перегородки виконані у вигляді лотків для збирання води (рис. 6.22, г). Вода подається у верхній лоток, а на шляху руху запиленого повітря утворюються водяні завіси при стіканні води з верхнього лотка в нижній. Конструкція каскадних гідрофільтрів допускає використання оборотної води, але її недоліком (особливо при поданні води через перфоровану трубу) є нерівномірна водяна завіса, що знижує ефективність уловлювання аерозолів.

Максимальну ефективність вловлювання аерозолів і парів розчинників, а також аерозолів фарби забезпечують ударно-струминні гідрофільтри (рис. 6.22, д). В той же час опір цих гідрофільтрів максимальний.

Повітровід цих гідрофільтрів має складну конфігурацію. Аерозолі фарби осаджуються при дотику забрудненого повітря з поверхнею рідини, яка знаходиться у нижній ємності, при русі через водяні завіси, а також за рахунок дії коріолісових сил під час руху повітря лабіринтом повітроводу. Крім того, в деяких конструкціях осадження аерозолів відбувається за рахунок часткового барботування через шар води.

Порівняльна характеристика гідрофільтрів різних типів наведена в табл. 6.6. Тривала експлуатація гідрофільтрів приводить до забивання повітроводних каналів і водоподавальних пристроїв шаром фарби. Це погіршує характеристики гідрофільтра, зменшує ефективність вловлювання і збільшується аеродинамічний опір. Періодичне очищення забруднених поверхонь гідрофільтра не дозволяє отримати початкову ефективність і, крім того, є трудомістким процесом.

Для попередження забруднення внутрішніх поверхонь гідрофільтра у воду додають різні хімічні речовини: каустичну соду (10 кг на 1 м³ води), в тій же кількості емульгатор (емульсол, кальциновану або каустичну соду, гексахлорофен). При вловлюванні аерозолів меламіноалкідних емалів використовують агломерувальні добавки, г/л: NaOH – 4,35; Na₂CO₃ – 0,13; декстрин – 0,5. Приготовлений розчин завантажують у гідро фільтр з розрахунку 0,1 мл на 1 л води.

З врахуванням організації завантажування і вивантажування пофарбованих деталей приймається конструкція камери – тупикова чи прохідна. Ширина камери B_k , мм, без гідрофільтра визначається за формулою:

$$B_e = B_a + B_1 + B_2, \quad (6.36)$$

де B_a – ширина деталі (виробу), мм;

B_e – відстань від деталі до стіни камери при поперечному відсмоктуванні рівна 550 мм;

B_1 – те ж при нижньому відсмоктуванні – 1200...1500 мм;
 B_2 – відстань від деталі до повітропромивного каналу 550 мм.

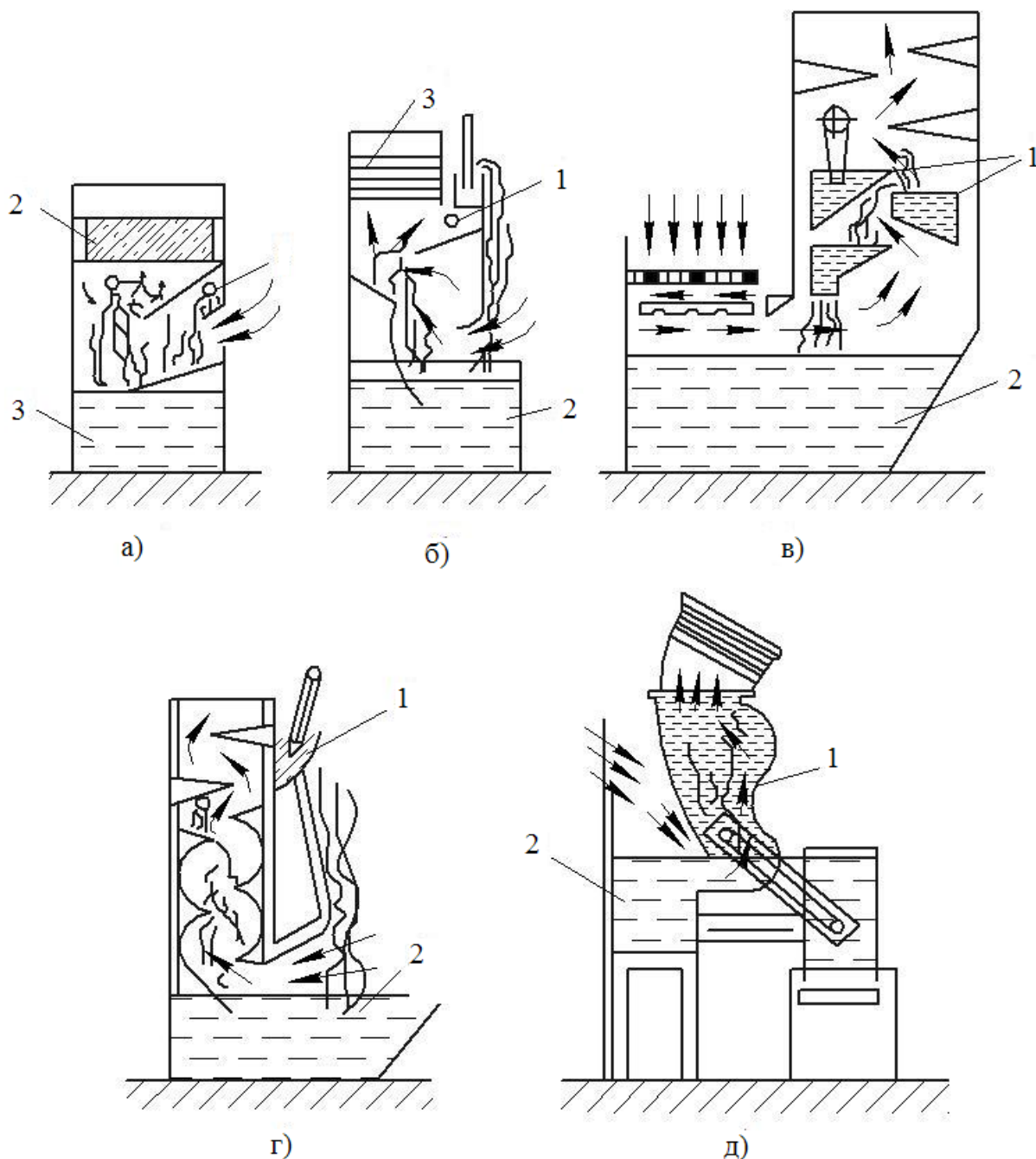


Рисунок 6.22 – Схеми гідрофільтрів різних типів:

а) гідрофільтр форсунковий: 1 – форсунки; 2 – бункер; 3 – краплеуловлювач; б) каскадний гідрофільтр з поданням води через перфоровані труби: 1 – перфорована труба; 2 – бункер; 3 – краплеуловлювач; в), г) каскадні гідрофільтри з переливними лотками: 1 – переливні лотки; 2 – бункер; д) ударно-струминний гідрофільтр: 1 – імпульсний канал; 2 – бункер.

Довжину камери приймають рівною довжині гідрофільтра (2200, 3400 або 4200 мм). Висота камери визначається як сума висоти деталі \hat{I}_a , відстані від підлоги до низу деталі (800 мм) і відстань від верху деталі до стелі камери (1000 мм).

Об'єм повітря Q , м³/год, що видаляється з камери з поперечним відсмоктуванням, повинен забезпечити певну швидкість у відкритому отворі камери:

$$Q = K \cdot V \cdot S \cdot 3600, \quad (6.39)$$

де \hat{E} – коефіцієнт, який враховує відсмоктування, рівний 1,15;

V – нормована швидкість у відкритому отворі (залежить від способу фарбування і складу лакофарбувального матеріалу), м/с;

S – площа відкритого отвору камери з врахуванням перекриття виробом, м².

Площа S визначається як:

$$S = 10^4 \left[(H_a + h_1 + 500) \cdot 1600 - H_a \cdot B_a \right]. \quad (6.40)$$

Для камер з нижнім відсмоктуванням кількість повітря, що повинна забезпечити необхідні швидкості у відкритому отворі і швидкість в перерізі нижнього відсмоктувача не менша 0,5 ... 0,6 м/с, тобто

$$Q^3 \geq 1800 \dots 2000 / S_i, \quad (6.41)$$

де S_i – площа підлоги камери, м²;

При цьому Q не менше $3600V(S_1 + S_2)$, де S_1 і S_2 – площі вхідного і вихідного перерізів.

Після розрахунку одержані значення порівнюють і для вибору гідрофільтра приймають максимальне.

Знаючи необхідну кількість повітря для провітрювання камери, вибирають або проектують гідрофільтр, для чого попередньо визначають його довжину і висоту. Ці розміри повинні забезпечити швидкість руху повітря в промивному каналі 5...6,5 м/с.

Технічні характеристики типових фарбувальних камер наведені в табл. 6.7.

6.8 Технологічні розрахунки

Приклад 6.1. Визначити об'ємну швидкість при очищенні азотоводневої суміші від кисню і окису вуглецю на нікельхромовому каталізаторі з розміром зерен $d=5$ мм, якщо процес очищення

здійснюється при тиску $P=10$ атм. Початковий вміст окислу вуглецю $C'_c = 500 \text{ см}^3/\text{м}^3$, кисню $C'_0 = 300 \text{ см}^3/\text{м}^3$; кінцевий $C'' = 10 \text{ см}^3/\text{м}^3$ кожного компонента. Витрати газу $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{год}$.

Таблиця 6.6 – Технічна характеристика гідрофільтрів

Тип гідро-фільтра	Викорис-товувана фарба	Відносні витрати		Втрати тиску в гідро-фільтрі, Па	Коефіцієнт очищення, %	
		повітря на 1м^2 гідрофільтра, тис.м ³ /год	води (оборот), л/м ³ повітря		аерозолів фарби	ароматичних вуглеводнів
1	2	3	4	5	6	7
Форсунковий	Грунт 138	7,9	1,1	176	97	–
	Нітро-емаль 507	6,7	1,3	–	94	–
Каскадний з поданням води: через перфоровані труби	грунт 138	5,6	2,2	216	92	53
1	2	3	4	5	6	7
	Емаль МЛ-25	5,7	2,2	218	86	52
з верхнього переливного лотка	Емаль МЛ-25	5,1	5,5	510	92	50
	Грунт 138	4,9	5,7	520	93	57
Ударно струминний:						
насосний	Емаль 123	5,8	6,1	870	92	52
безнасосний	Емаль 123	3,7	–	730	98	60
	Емаль МЛ-25	2,6	–	840	97	–
	Нітро-емаль	4,2	–	1150	–	77

Розв'язування

1. Температуру в контактному апараті приймаємо $t = 150^\circ\text{C}$, що гарантує протікання процесу гідрування окису вуглецю в області зовнішньої дифузії. При цих умовах швидкість гідрування кисню буде значно більша швидкості гідрування окислу вуглецю і повнота очищення газу буде визначатися перетворенням окислу вуглецю.

Лінійну швидкість газу приймаємо рівною $v = 0,3$ м/с (враховуючи на стиснутий газ).

2. Кількість окислу вуглецю, яка повинна прореагувати, знаходимо за формулою:

$$\sigma = \frac{Q(C'_c - C''_c)}{M} \cdot 10^{-6} = \frac{1000 \cdot (500 - 10)}{22,4} \cdot 10^{-6} = 2,18 \cdot 10^{-2} \text{ (кг/с)}.$$

3. Визначаємо зовнішню поверхню каталізатора в одиниці об'єму

$$S_0 = (1 - m) \frac{6}{d} = (1 - 0,5) \frac{6}{5 \cdot 10^{-3}} = 600 \text{ (м}^2/\text{м}^3\text{)},$$

де m – частка вільного об'єму каталізатора;

d – діаметр зерен каталізатора, м.

4. Знаходимо величину коефіцієнта масопередачі

$$\begin{aligned} \beta &= 2,8 \cdot 10^{-6} (t - 13) \cdot v^{0,55} \cdot P^{-0,26} \cdot R \cdot T = 2,8 \cdot 10^{-6} (150 - 13) \cdot 0,3^{0,55} \cdot 10^{-0,26} \cdot R \cdot T = \\ &= 1,07 \cdot 10^{-4} RT \text{ (с}^2/\text{м}^2\text{)}. \end{aligned}$$

5. Визначаємо необхідний об'єм каталізатора

$$\begin{aligned} V &= \frac{RT \cdot G \cdot \ln(P_i/P_y)}{\beta \cdot S_0 (P_i - P_y)} = \frac{RT \cdot 2,18 \cdot 10^{-2} \cdot 2,3 \ln 50}{1,07 \cdot 10^{-4} RT \cdot 600 (500 - 10) \cdot 10 \cdot 10^{-4} 10^{-6}} = \\ &= 2,72 \cdot 10^{-2} \text{ (м}^3\text{)}. \end{aligned}$$

6. Максимальна об'ємна швидкість

$$v_{\max} = \frac{Q}{V} = \frac{1000}{2,72 \cdot 10^{-2}} = 37000 \text{ (кг/с}^2\text{)}.$$

Якщо прийняти коефіцієнт запасу $\hat{E}_3 = 2$, тоді при розрахунках апаратів очищення азотоводневої суміші від кисню і окислу вуглецю при тиску $P=10$ атм можна приймати значення об'ємної швидкості біля 20000 год^{-1} при лінійній швидкості газу не менше $0,3 \text{ м/с}$.

Таблиця 6.7 – Технічні характеристики типових фарбувальних камер

Параметри	Одиниця вимірювання	Величини			
Максимальний розмір фарбованих виробів	мм	630×630 ×630	1600×1500 ×1500	2500×1500 ×1500	3000×2000 ×2000
Розміри отвору для проходження виробу	мм	1100×1100	2100×2600	–	2500×3160
Швидкість повітря в робочому отворі	м/с	1,3	1,3	1,3	1,3
Об'єм повітря, яке відсмоктується	м ³ /год	5700	25000	44000	57000
Кількість рециркульованої води	м ³ /год	28	63	110	142
Витрати чистої води	л/год	280	630	1100	1425
Тип вентилятора	–	Ц 9– 57 №4	Ц 9– 57 №6	Ц 9– 57 №5	Ц 9– 57 №6
Тип насоса	–	2 к– 6	4 к– 12а	4 к– 12а	4 к– 12а
Габаритні розміри kabіни:					
довжина	мм	1400	7030	6160	7560
ширина	мм	1850	4065	5730	7200
висота	мм	3465	6060	5870	5945
маса kabіни	кг	1490	6590	10300	14290

Приклад 6.2. Визначити необхідну кількість активованого вугілля, висоту шару адсорбенту і діаметр адсорбера періодичної дії для поглинання парів бензину із суміші його з повітрям. Витрати пароповітряної суміші $Q=3450 \text{ м}^3/\text{год}$. Початкова концентрація бензину $C' = 0,02 \text{ кг/м}^3$. Швидкість пароповітряної суміші $V = 0,23 \text{ м/с}$,

розраховуючи на повний переріз апарата, динамічна активність вугілля по бензину $a_a = 7\%$ (макс.), кінцева активність після десорбції $a_e = 0,8\%$ (макс.), насипна густина вугілля $\rho_i = 500 \text{ кг/м}^3$. Тривалість десорбції, сушіння і охолодження адсорбенту $\tau = 1,45 \text{ год}$.

Розв'язування

1. Для поглинання бензину за 1,45 год необхідно адсорбенту

$$\sigma = \frac{Q \cdot \tau \cdot C'}{a_a - a_e} = \frac{3450 \cdot 1,45 \cdot 0,02}{0,07 - 0,008} = 1612 \text{ (кг)}.$$

2. При заданій швидкості пароповітряної суміші $V = 0,23 \text{ м/с}$ і витратах $Q = 3450 \text{ м}^3/\text{год}$ діаметр адсорбера повинен бути рівний

$$D = \sqrt{\frac{Q}{3600 \cdot 0,785 \cdot V}} = \sqrt{\frac{3450}{3600 \cdot 0,785 \cdot 0,23}} = 2,3 \text{ (м)}.$$

3. Висота шару адсорбенту

$$H = \frac{\sigma}{\rho_i \cdot 0,785 \cdot D^2} = \frac{1612}{500 \cdot 0,785 \cdot 2,3^2} \approx 0,8 \text{ (м)}.$$

Контрольні запитання

1. Наведіть класифікацію методів очищення промислових викидів від газоподібних забруднень.
2. Опишіть суть абсорбційного очищення промислових викидів та сфери його застосування.
3. Наведіть типову схему та класифікацію абсорберів.
4. Розкажіть про особливості протікання хемосорбційного очищення промислових викидів.
5. Охарактеризуйте особливості абсорберів періодичної та безперервної дії.
6. Опишіть вимоги до вибору адсорбенту.
7. Поясніть суть термічного знешкодження парів і газів.
8. Наведіть принципові схеми термічних нейтралізаторів.
9. Розкрийте суть каталітичного очищення газів.
10. Наведіть класифікацію та особливості роботи контактних апаратів для проведення каталітичного очищення газів.
11. Опишіть суть біохімічного очищення газів.
12. Наведіть класифікацію гідрофільтрів та особливості їх застосування в промисловості.

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ДО 7 РОЗДІЛУ

- L – довжина соленоїда, м;
 D – діаметр соленоїда, м;
 I – сила струму, А;
 U – напруга, В;
 J_c – густина струму, А/мм²;
 $S_{i\delta}$ – переріз проводу (шини), мм²;
 $\rho_{i\delta}$ – питомий опір проводу (для міді – 0,018 Ом·мм²/м, для алюмінію – 0,028 Ом·мм²/м);
 $\gamma_{i\delta}$ – густина матеріалу проводу (для міді – $8,9 \cdot 10^{-6}$ кг/мм³);
 W – параметр об'єму котушки, мм³;
 R_ϵ – електричний опір котушки, Ом;
 Q – продуктивність фільтра, м³/год;
 M – маса котушки, кг;
 H – напруженість намагнічувального поля, А/м;
 ω_a – кількість витків;
 Д – потужність фільтра, Вт, кВт;
 d_c – діаметр осердя, м, мм;
 l_c – довжина осердя, м, мм;
 l_1 – відстань між поясами осердь, м, мм;
 μ – середня магнітна проникність вставки, Г/м;
 μ_0 – магнітна проникність вакууму, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м;
 \hat{A} – магнітна індукція, Т;
 a_1 – ширина пакетів магнітів;
 b_1 – ширина пакетів магнітів;
 K_δ – коефіцієнт розсіювання магнітного потоку;
 ν – кінематична в'язкість, м²/с;
 v – швидкість фільтрування, м/с;
 d – діаметр гранул насадки, мм;
 Ra – коефіцієнт Рейнольдса;

7 МАГНІТНЕ ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ

Переважаюча частина залізовмісних домішок парів і конденсатів на електростанціях, газових і рідких компонентів та продуктів аміачного виробництва, відхідних газів і стічних вод в металургії має магнітосприйнятливі (ферромагнітні, антиферромагнітні) властивості, тобто здатність до магнітного осадження, яка реалізується в спеціальних установках (фільтрах, осаджувачах).

Магнітосприйнятливі частинки, піддаючись магнітному осадженню, виконують також супутню „транспортну” функцію, захоплюючи інші частинки домішок та іони. Це дозволяє вважати метод магнітного осадження більш універсальним порівняно з його прямим призначенням. Перспективне штучне попереднє введення в середовище (чи утворення) магнітосприйнятливих частинок з наступним сумісним осадженням їх з іншими домішками.

Робочим органом магнітних фільтрів-осаджувачів (рис. 7.1) є фільтрувальна (гранульована) намагнічена насадка 2, яка безпосередньо контактує з потоком газу або рідини, які очищаються.

Головна позитивна якість таких насадок в тому, що при дії на них порівняно невеликим намагнічувальним полем в їх порах, переважно поблизу точок контакту гранул, формується поле високої напруженості, яке набагато перевищує напруженість намагнічувального поля, і високого ступеня неоднорідності. Внаслідок цього частинки піддаються ефективній силі осаджувальній дії, чим і досягається тонке очищення газів від магнітосприйнятливих фракцій домішкових частинок при умові наявності у гранул антикорозійних властивостей.

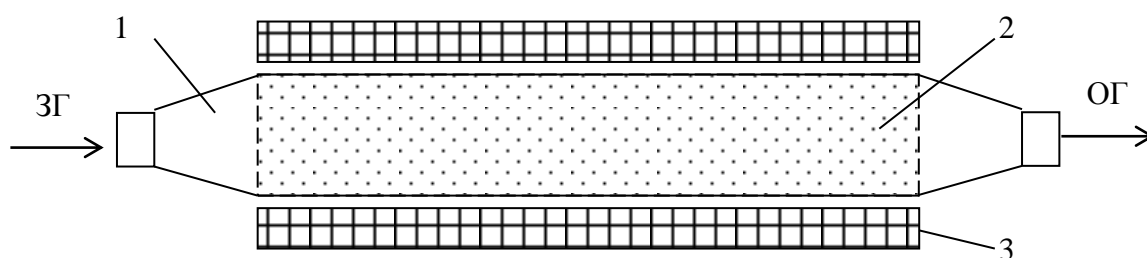


Рисунок 7.1 – Соленоїдний фільтр-осаджувач:

1 – корпус; 2 – фільтрувальна насадка; 3 – соленоїд для створення магнітного поля

При цьому магнітофільтраційне очищення (МФ-очищення) допускає порівняно великі робочі швидкості протікання середовища, яке очищається (наприклад, не менше ніж в 3...10 разів порівняно з традиційним очищенням, де проявляються тільки хімічні та механічні сили захоплення), що робить магнітні очисні установки одночасно

компактними і високопродуктивними. Такі насадки також зберігають свої магнітні властивості в широкому температурному діапазоні (для заліза до 770°C), що дозволяє їх застосовувати для очищення середовищ, які знаходяться в різних температурних режимах.

Апарати, призначені для тонкого МФ-очищення рідин і газів, класифікуються за трьома основними групами залежно від особливостей намагнічувальних систем та їх компоновання з зоною осадження домішок, тобто фільтрувальною намагнічувальною насадкою [35].

1. *Електромагнітні фільтри з осердя-насадкою*: робоча насадка розташована безпосередньо в порожнині намагнічувальних котушок. Власне в цих конструкціях сама насадка – це своєрідне осердя намагнічувальної котушки.

2. *Багатополюсні фільтри з „відділеними” електромагнітами*: мають значну кількість малогабаритних котушок із сталевими осердями-магнітопроводами, розташованими за межами насадки і спрямованими своїми полюсами до насадки. Як правило, осердя складають разом з насадкою замкнутий магнітний контур.

3. *Фільтри з „відділеними” постійними магнітами*: мають пакет постійних магнітів, але не як осаджувальних елементів, а як намагнічувальних систем з можливістю управління ними для періодичного переривання магнітної дії на фільтрувальну насадку (для апаратів перших двох груп переривання магнітної дії здійснюється вимкненням струму живлення).

7.1 Електромагнітні фільтри з осердя-насадкою

Найбільш розповсюдженою конструкцією цієї групи апаратів є соленоїдний фільтр-осаджувач, який має різні модифікації. Найдоцільніша продуктивність фільтрів-осаджувачів соленоїдного типу визначається з критерію $L/D \geq 2...3$, де: L – довжина соленоїда, м; D – діаметр соленоїда, м.

При зберіганні $L/D \geq 2...3$, застосовуючи перфоровану перегородку і роздвоюючи потік (рис. 7.2), можна забезпечити необхідне значення активної довжини насадки. При очищенні більших потоків діаметр порівняний з необхідною довжиною насадки. В таких випадках доцільніше застосовувати дві перфоровані перегородки (рис. 7.3) або коаксіальні перфоровані перегородки і пропускати середовище, яке очищається, поперек насадки. Характерні втрати магнітного поля в навколишнє середовище можна зменшити в конструкції, близькій до тороїдальної, в якій кількість секцій визначається витратами середовища, яке очищається, в тому числі з заглибленими в секцію котушками, а також в модульній конструкції, яка складається із соленоїдних секцій, спарених насадкою (рис. 7.4) або сталевими шунтами. При цьому необхідно

враховувати маси насадки і проводу, зведені до одиничних витрат, а також середню відносну напруженість намагнічувального поля.

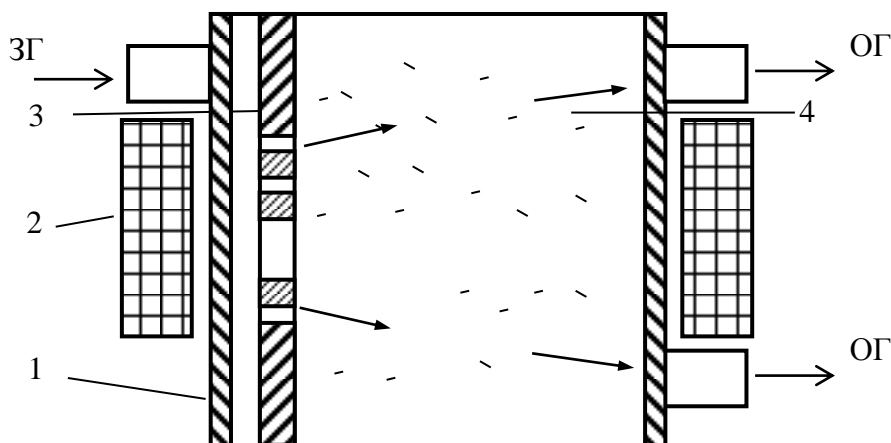


Рисунок 7.2 – Електромагнітний двоходовий фільтр-осаджувач з перфорованою посередині перегородкою:
1 – корпус; 2 – електромагнітна котушка; 3 – перфорована перегородка; 4 – насадка

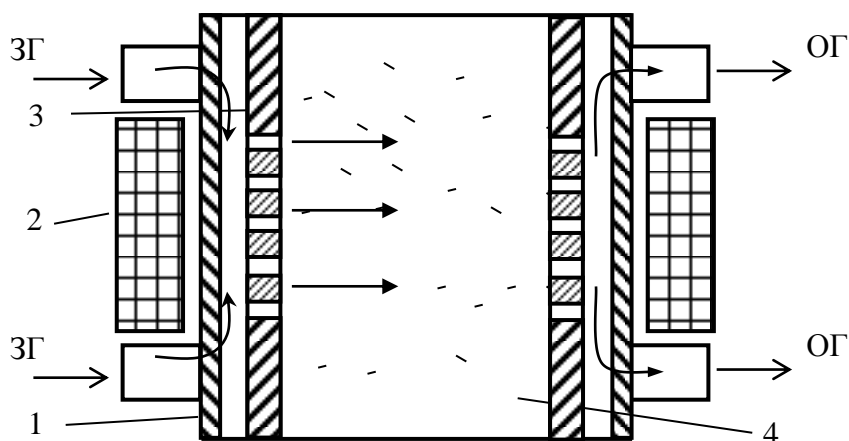


Рисунок 7.3 – Електромагнітний поперечно-проточний фільтр-осаджувач з двома перфорованими перегородками:
1 – корпус; 2 – електромагнітні котушки; 3 – перфорована перегородка; 4 – насадка

Розрахунок фільтрів-осаджувачів першої групи є звичайною електротехнічною задачею, яка враховує дані про намагнічування гранульованих насадок. Проте вже на стадії вибору принципової конструкції виникає низка запитань, на які необхідно мати таку інформацію:

- дані про намагнічувальну силу $I \omega_a$;
- площу вікна намотки S ;

- діаметр корпусу D (приблизно рівний внутрішньому діаметру соленоїда);
- зовнішній діаметр соленоїда (катушки) D_{ζ} ;
- кількість витків ω , загальну довжину проводу $l_{\text{пр}}$ і електричний опір катушки R_K ;
- напругу U , потужність P і масу M катушки залежно від продуктивності Q , напруженості намагнічувального поля H , довжини насадки (катушки) L , швидкості фільтрування v .

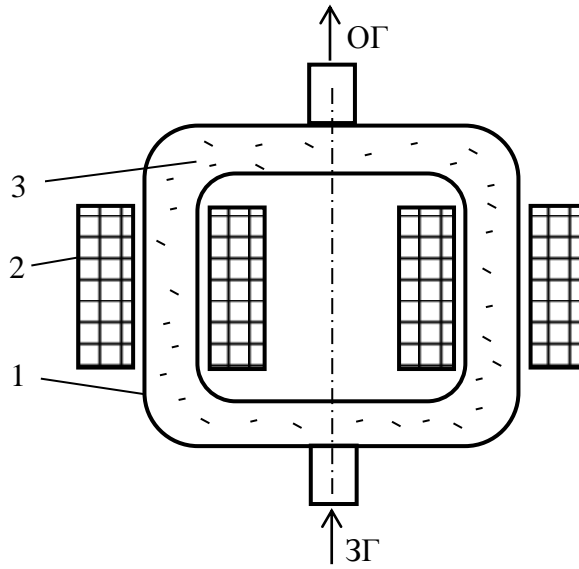


Рисунок 7.4 – Електромагнітний двоходовий фільтр-осаджувач із спареними насадкою соленоїдними секціями:
1 – корпус; 2 – електромагнітні катушки; 3 – насадка

Для соленоїдного чи однієї із секцій тороїдального або спареного фільтра-осаджувача з обмеженням втрат магнітного поля в середньому від 0 до 20 %.

$$I\omega_a = 1,1HL; \quad S = \frac{4I\omega_a}{\pi j_c K_0}; \quad \omega_a = \frac{\pi K_0 S}{4S_{i\delta}};$$

$$L_{i\delta} = \frac{\pi^2 K_0 W}{16S_{i\delta}}; \quad R_K = \frac{\pi^2 \rho_n K_0 W}{16S_{i\delta}^2}; \quad U = \frac{\pi^2 j_c \rho_{i\delta} K_0 W}{16S_{i\delta}}; \quad (7.1)$$

$$P = \frac{\pi^2}{16} j_c \rho_{i\delta} K_0 W; \quad M = \frac{\pi^2}{16} \gamma_{i\delta} K_0 W,$$

де I – сила струму, А;

J_c – густина струму, А/ мм²;
 $S_{i\delta}$ – переріз проводу (шини), мм²;
 K_0 – коефіцієнт, який враховує заповнення проводом вікна котушки, приймається рівним 0,5...0,7;
 $\rho_{i\delta}$ – питомий опір проводу (для міді – 0,018 Ом·мм²/м, для алюмінію – 0,028 Ом·мм²/м);
 $\gamma_{i\delta}$ – густина матеріалу проводу (для міді – $8,9 \cdot 10^{-6}$ кг/мм³);
 W – параметр об'єму котушки.

$$W = (D_\zeta + D)(D_\zeta - D)L = 2S \left(\frac{2S}{L} + 2D \right), \quad (7.2)$$

$$D_\zeta = \frac{2S}{L} + D.$$

Причому, якщо W помножити на $\pi/4$, то одержимо об'єм самої котушки без об'єму її внутрішньої порожнини.

7.2 Багатополюсні фільтри з „відділеними” електромагнітами

Фільтри-осаджувачі другої групи повинні задовольняти такі вимоги:

- раціональне компонування намагнічувальних систем (використання прямих суцільних осердь і скорочення до мінімуму ділянок магнітного кола поза робочими зонами);
- утворення робочих зон осадження необхідної довжини;
- забезпечення роботи під тиском.

До цієї групи відноситься конструкція (рис. 7.5), в якій канали з насадкою і електромагніти розташовані по чергово з утворенням замкнутого тороподібного кола.

Кількість каналів (мінімум 5...6) і електромагнітів-„поясів” встановлюється, виходячи з необхідної продуктивності та довжини насадки.

До цих фільтрів-осаджувачів відноситься також двоканальний фільтр-осаджувач з парами накладних електромагнітів (рис. 7.6).

Існує можливість використання даної конструкції як модуля апаратів підвищеної продуктивності з компонуванням модулів в ряд або по колу. При цьому осердя можуть бути зміщені один відносно одного впритул до утворення магнітного контуру, ділянками якого виступають поздовжні ділянки каналів. Такі модулі можна компонувати також хрестоподібно з центральним загальним каналом.

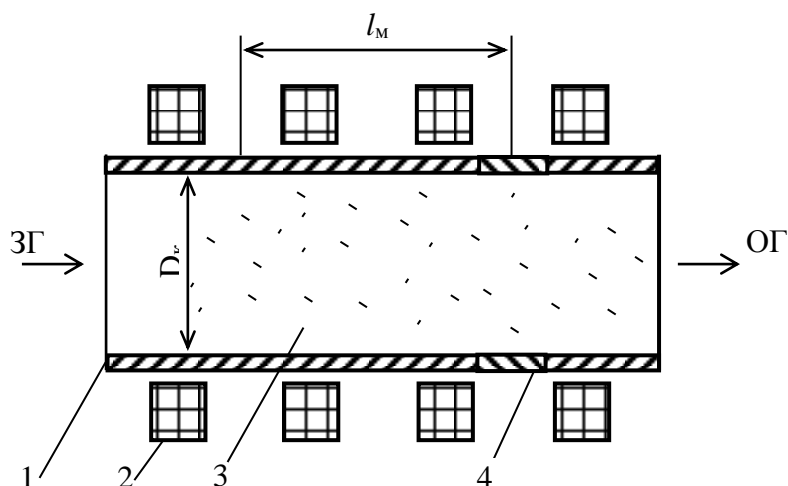


Рисунок 7.5 – Багатополосний електромагнітний фільтр-осаджувач з осердями у вигляді типового вузла:

1 – корпус; 2 – електромагнітні котушки; 3 – насадка;
4 – феромагнітні вставки

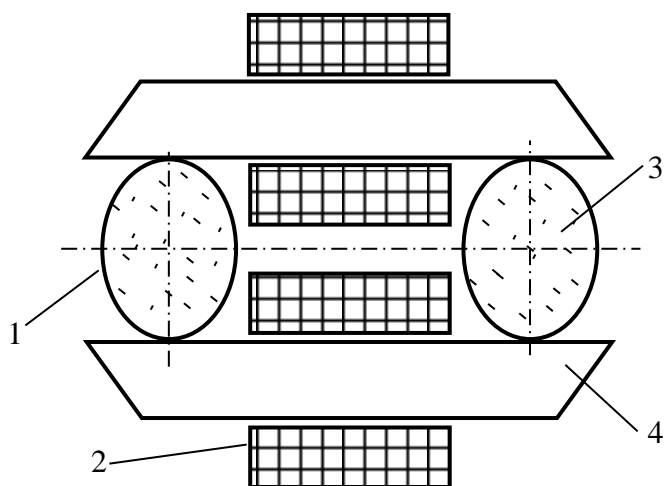


Рисунок 7.6 – Багатополосний електромагнітний фільтр-осаджувач з накладними осердями:

1 – корпус у вигляді каналів; 2 – електромагнітні котушки;
3 – насадка; 4 – осердя

Основними конструктивними параметрами апаратів другої групи є діаметр d_c і довжина l_c осердя, відстань l_1 між поясами осердь (рис. 7.5, рис. 7.6). При розрахунку користуються законом повного струму, записаним для типового з'єднання елементів замкнутого кола: робочої ділянки з характерним розміром (приблизно рівним діаметру каналу D_c) і необхідної напруженості намагнічувального поля H , осердя довжиною l_0 і напруженістю магнітного поля в ньому H , інших ділянок (наприклад, зазорів) спільною довжиною l_Δ та середньою напруженістю поля.

$$\frac{H_{\Delta}}{I\omega_{\Delta}} = HD_K + H_c l_c + H_{\Delta} l_{\Delta}. \quad (7.3)$$

Враховуючи екстремальний характер кривих індукції за висотою насадки між суміжними поясами намагнічування і користуючись експериментальними даними вхідного магнітного потоку в насадку залежно від діаметра каналу при визначенні магнітного „навантаження” для оперативних розрахунків використовуються такі формули:

$$I\omega_0 = 1,1HD_K; \quad D_K \leq l_1 \leq 2D_K;$$

$$\frac{d_c}{D_{\alpha}} = \left(\frac{B}{B_c} \right)^{0,4} = \left(\frac{\mu_0 < \mu < H}{B_c} \right)^{0,4}; \quad \frac{l_c}{D_{\alpha}} \leq 0,05H_c, \quad (7.4)$$

де μ – середня магнітна проникність насадки, Гн/м;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна стала;

$H_c = 1000 \dots 2000$ А/м – напруженість відпаленої низьковуглецевої сталі в області насичення;

$B_c = 1,2 \dots 1,4$ Тл – індукція низьковуглецевої сталі.

Для зменшення розмагнічувального фактора насадки і полегшення складання апарата застосовують феромагнітні вставки в місцях контакту полюсів осердь зі стінкою неферомагнітного каналу, заглиблюючи полюсний наконечник осердя в насадку і ліквідуючи зазори при монтажі за рахунок фігурних з'єднань осердь і полюсних наконечників. При об'єктивно існуючих „перепадах” значень індукції в об'ємі насадки доцільно застосовувати гвинтоподібні вставки в насадці між суміжними електромагнітами для повороту потоку і забезпечення послідовного проходження ним областей зі зниженою і підвищеною середньою індукцією.

7.3 Фільтри з постійними магнітами

В апаратах третьої групи, варіанти яких наведені на рис. 7.7, рис.7.8 і рис. 7.9, відсутнє або різко обмежене використання обмотувального проводу, споживання електроенергії, полегшується їх застосування у вибухонебезпечних умовах, коли необхідне спеціальне електричне оснащення. Періодичне переривання дії намагнічувального поля на насадку здійснюється поворотом, зміщенням намагнічувальної системи або періодичним розмагнічуванням постійних магнітів. Через необхідність створення намагнічувального поля підвищеної напруженості H ширина

пакетів магнітів b_1 звичайно перевищує діаметр корпусу $D_е$ і магнітний потік „фокусується” в насадку за допомогою феромагнітних переходів (рис. 7.7).

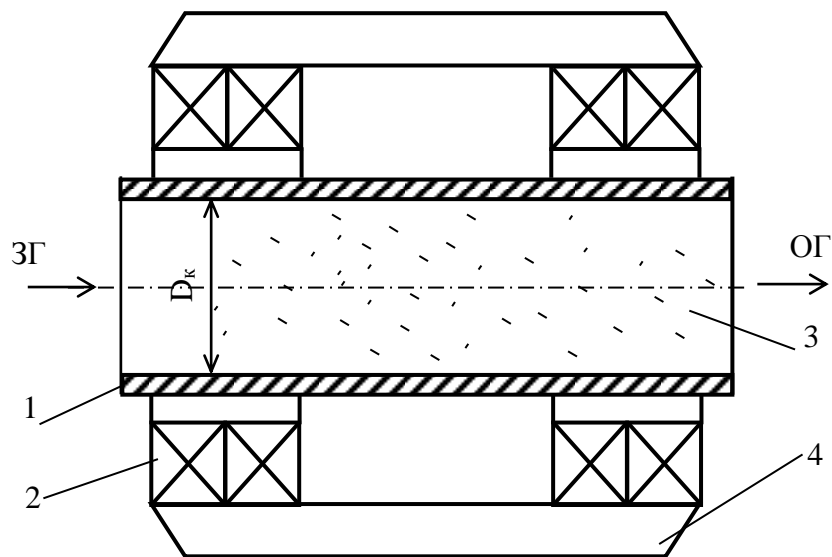


Рисунок 7. 7 – Одноканальний фільтр-осаджувач з зовнішньою намагнічувальною системою з постійних магнітів:
 1 – корпус каналу; 2 – пакет постійних магнітів; 3 – насадка;
 4 – елементи магнітопроводу

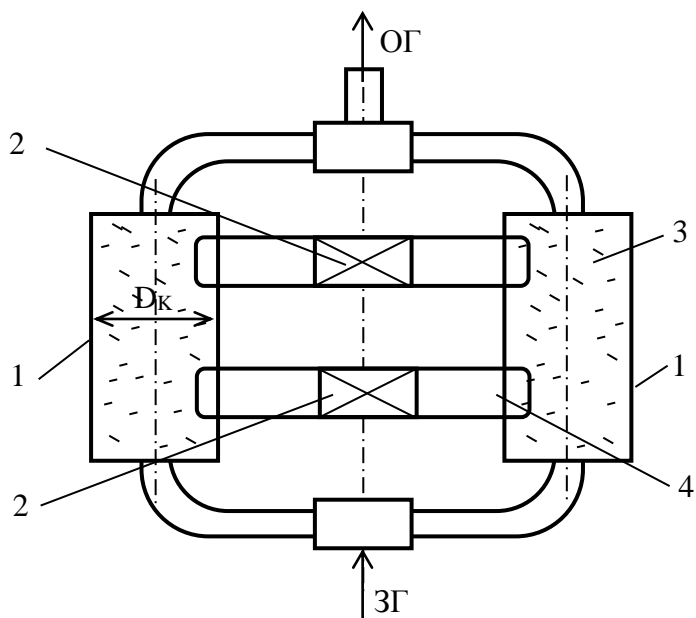


Рисунок 7.8 – Двоканальний фільтр-осаджувач з внутрішньою намагнічувальною системою з постійних магнітів:
 1 – корпус каналів; 2 – пакети постійних магнітів, які мають можливість повороту або відведення; 3 – насадка; 4 – елементи магнітопроводу

Для розрахунку основних параметрів апарата застосовують закон повного струму для магнітного кола, проте традиційний розрахунок намагнічувальних систем з постійними магнітами зводиться до визначення напруженості поля при вже відомій геометрії системи.

Після обґрунтованої мінімізації магнітних напруг в елементах без насадки (в межах 10...30% магнітної напруги в насадці), а також використання виразів для генерованого магнітами магнітного потоку, який сприймається насадкою, можна отримати такі залежності:

$$\frac{a_{\mu}}{D_K} \cong 0,6 \left(\frac{H}{H_d} \right); \quad (7.5)$$

$$\frac{b_{\mu}}{D_K} \cong K_{\delta} \left(\frac{B}{B_d} \right) = K_{\delta} \left[\frac{\mu_0 < \mu < H}{B_d} \right],$$

де $K_{\delta} = 1...1,5$ – коефіцієнт розсіювання магнітного потоку;

\dot{I}_d і B_d – середні значення напруженості поля та індукції в магнітах, що відповідають максимальній питомій енергії, наприклад, для магнітів марки 22РА220 $\dot{I}_d = 122$ кА/м, $B_d = 0,18$ Тл.

7.4 Вибір і розрахунок насадок

При виборі фільтрувальної насадки до тієї чи іншої конструкції магнітного очисного апарата враховуються магнітні та антикорозійні властивості, складність виготовлення (чи придбання), а також вартість.

Важливою характеристикою насадки є втрати напору ΔP в ній, що функціонально залежать від густини ρ і кінематичної в'язкості середовища ν , пористості ω і довжини насадки L , діаметра (характерного розміру) її гранул d , швидкості фільтрування V , а в універсальнішому вигляді – від числа Рейнольдса $Re = vd/V$. При цьому найцінніші для ΔP ті залежності, які показують роль кожного з наведених параметрів у явному, степеневому вигляді, що часто необхідно для оперативного забезпечення (і коректування) значень втрат напору в рамках вимог технологічного процесу. Зокрема, така задача практично завжди стоїть при використанні магнітних фільтрів-осаджувачів у цілій низці суворо регламентованих технологічних схем:

- виробництві неконцентрованої азотної кислоти;
- перекачування аміаку;
- розподілення природного газу споживачам;
- витягування відхідних газів тощо.

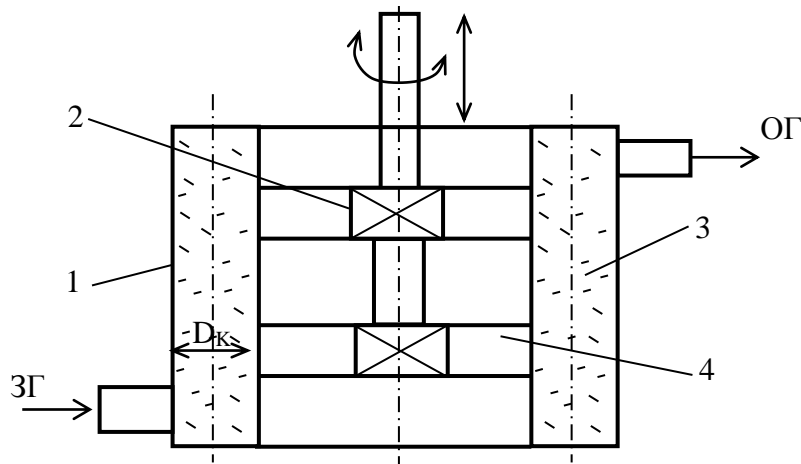


Рисунок 7.9 – Двоканальний фільтр-осаджувач з внутрішньою намагнічувальною системою з постійними магнітами:
 1 – корпус каналу; 2 – пакет постійних магнітів, які мають можливість повороту або відведення; 3 – насадка; 4 – елементи магнітопроводу

В достатньо широкому діапазоні $Ra = 10 \dots 10^4$ практично з точністю до постійних коефіцієнтів K_1 і K_2 справедливі такі формули для режимів: *ламінарного*:

$$\Delta P = K_1 \frac{P_1 v L}{\omega^{4,2} d^2} V = K_1 \frac{P_1 v L}{\omega^{4,2} d^2} Ra \quad (7.6)$$

турбулентного:

$$\Delta P = K_2 \frac{P v^{0,25} L}{\omega^{4,2} d^{1,85}} V^{1,76} = K_2 \frac{P v^8 L}{\omega^{4,2} d^3} Ra \quad (7.7)$$

Перехід від ламінарного до турбулентного режиму порівняно чіткий (незатяжний) і приходить на критичне число Рейнольдса $Ra = 50 \dots 80$. Для засипок з шарів $K_1 = 25 \dots 30$ і $K_2 = 1,1 \dots 1,3$. Для інших засипок значення K_1 і K_2 трохи вище: для чавунного дробу – в 1,1...1,2 рази, дробленого фериту – в 2,5...3 рази, дробленої стружки – в 3,5...4 рази.

Якщо для зручності закруглити показник степеня при ω , компенсуючи це відповідним множником, то альтернативно до формул (7.6) і (7.7):

$$\Delta P = K_1 \frac{\rho L}{\omega^4 d^2} V = K_1 \frac{\rho^2 L}{\omega^4 d^2} Ra \quad (7.8)$$

$$\Delta P = K_2 \frac{\rho^{0,25} L}{\omega^4 d^{1,25}} V^{1,75} = K_2 \frac{\rho^2 L}{\omega^4 d^{1,25}} Ra^{1,75}. \quad (7.9)$$

при збільшених коефіцієнтах K_1 і K_2 в 1,1...1,2 рази. Наприклад, для шарових насадок $K_1 = 30...35$ і $K_2 = 1,3...1,5$.

Для окремого випадку засипки шарів однакового діаметра, коли їх пористість практично постійна (при порівняно малих діаметрах колонок D пористість дещо залежить від відносного габариту D/d), для діапазону $D/d=4...30$ справедливі такі формули:

$$\Delta P = 520 \left(\frac{D}{d} \right)^{0,4} \frac{\rho L}{d^2} V, \quad (7.10)$$

$$\Delta P = 23 \left(\frac{D}{d} \right)^{0,4} \frac{\rho^{0,25} L}{d^{1,25}} V^{1,75}. \quad (7.11)$$

При $D/d=30$, коли пористість засипки шарів стає постійним числом,

$$\Delta P = 2000 \frac{\rho L}{d^2} V, \quad (7.12)$$

$$\Delta P = 90 \frac{\rho V^{0,25}}{d^{1,25}} V^{1,75}, \quad (7.13)$$

відповідно для ламінарного і турбулентного режимів руху потоку середовища, яке очищається.

Своєрідним елементом насадки фільтра-осаджувача можна вважати „оболонку” насадки, тобто робочий корпус, який при відсутності спеціальних конструктивних рішень (див. рис. 7.5) помітно впливає на намагнічування насадки, а відповідно і на її сорбційні властивості. В рекомендаціях з конструювання магнітних очисних апаратів зазначається, що матеріал корпусу, в якому знаходиться насадка, повинен бути виготовленим з неферомагнітного матеріалу. В цьому випадку, *по-перше*, виключається часткове проходження магнітного потоку в обхід насадки і, *по-друге*, при використанні багатьох неферомагнітних матеріалів убезпечуються додаткова корозія та забруднення середовища, яке очищається. Проте фактор корозії корпусу може бути усунений звичайними засобами, а фактор магнітного шунтування насадки зводиться на ніщо при відповідному обмеженні стінки корпусу. При цьому в магнітному колі очисного апарата усуваються несприятливі розриви, що підвищує рівень намаг-

нічування робочого органу – фільтрувальної насадки (в основному за рахунок ліквідації досить значної магнітної напруги в „розривах” і заглушення розмагнічувального фактора насадки).

Для випадків поперечного намагнічування насадки (див. рис. 7.5... 7.9) товщина стінки $\delta_{\text{н0}}$ вибирається з умови:

$$\frac{\delta_{\text{н0}}}{D} \leq 0,04; \quad (7.14)$$

а для поздовжнього намагнічування:

$$\frac{\delta_{\text{н0}}}{D} \leq 0,02. \quad (7.15)$$

При цьому підвищенню економічності та ефективності роботи очисного апарата сприяє і та обставина, що більш роботоздатними стають багаточисельні точки контакту гранул з поверхнею феромагнітного корпусу.

Приклад 7.1. Розрахувати фільтр-осаджувач першої групи (рис. 7.2) для магнітофільтраційного очищення газів об’ємом $Q=15$ м³/год при швидкості $V=6...8$ см/с (250 м/год) і температурі $t=100$ °С.

Розв'язування

1. Приймаємо:

- напруженість намагнічувального поля $H=70$ кА/м;
- довжина насадки (котушки) $L=1$ м;
- провід котушки мідний, поперечним перерізом $S_{\text{i}\delta}=10$ мм²;
- коефіцієнт, який враховує заповнення проводом вікна котушки, $\hat{E}_0=0,5$;
- густина струму $j_c=2$ А/мм².

2. Знаходимо питомий опір проводу при робочій температурі

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t) = 0,018 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot 100 \right) = 0,0246 \text{ О}\cdot\text{м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}^2} = 24,6 \cdot 10^{-6} \text{ О}\cdot\text{м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}^2},$$

де ρ_0 – питомий опір міді при $t=0$ °С;

α – температурний коефіцієнт опору (для чистих металів $\alpha = 1 / 273$).

3. Визначаємо намагнічувальну силу котушки

$$I\omega_a = 1,1HL = 1,1 \cdot 70 \cdot 10^3 \cdot 1 = 70 \cdot 10^3 \text{ А}.$$

4. Площа вікна намотування буде рівна

$$S = \frac{4I\omega_a \cdot K_0}{\pi \cdot j_c} = \frac{4 \cdot 77 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 2 \cdot 0,5} = 9,8 \cdot 10^4 (\text{ì}^2).$$

5. Розраховуємо кількість витків котушки

$$\omega_A = \frac{\pi \hat{E}_0 S}{4S_{i\delta}} = 3,14 \cdot 0,5 \cdot 9,8 \cdot \frac{10^4}{4} \cdot 10 = 3800.$$

6. Внутрішній діаметр соленоїда знаходимо з найдоцільнішого критерію $L/D \geq 2 \dots 3$. Тобто

$$D = \frac{L}{(2 \dots 3)} = \frac{I}{(2 \dots 3)} = 0,5 \dots 0,33 (\text{ì}).$$

Приймаємо $D = 0,48 \text{ ì} = 480 \text{ ì}$.

7. Зовнішній діаметр соленоїда буде рівний

$$D_3 = \frac{2S}{L} + D = 2 \cdot 9,8 \cdot \frac{10^4}{1000} + 480 = 676 (\text{ì}).$$

8. Визначаємо параметр об'єму котушки

$$W = (D_3 + D)(D_3 - D)L = (676 + 480)(676 - 480) \cdot 1000 = 226,6 \cdot 10^6 (\text{ì}^3).$$

9. Знаходимо довжину проводу котушки

$$L_{i\delta} = \pi^2 \hat{E}_0 \cdot \frac{W}{16S_{i\delta}} = 3,14^2 \cdot 0,5 \cdot 226,6 \cdot \frac{10^6}{16} \cdot 10 = 7 \cdot 10^3 (\text{ì}).$$

10. Опір котушки буде рівний

$$R_K = \pi^2 \rho_{i\delta} K_0 \cdot \frac{W}{16S_{i\delta}^2} = 3,14^2 \cdot 24,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 \cdot 226,6 \cdot \frac{10^6}{16} \cdot 10^2 = 17,2 (\hat{\text{ì}}).$$

11. Знаходимо величину напруги

$$U = \pi^2 \cdot j_c \cdot \rho_{i\delta} \cdot \hat{E}_0 \frac{W}{16S_{i\delta}} = 3,14^2 \cdot 2 \cdot 24,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 \cdot 226,6 \cdot \frac{10^6}{16} \cdot 10 = 340 \text{ (}\hat{A}\text{)}.$$

12. Потужність котушки буде рівна

$$P = \frac{\pi^2}{16} j_c^2 \rho_{i\delta} K_o W = \frac{3,14^2}{16} \cdot 2^2 \cdot 24,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 \cdot 226,6 \cdot 10^6 =$$

$$= 6700 \text{ (}\hat{A}\text{)} = 6,7 \text{ (}\hat{A}\text{)}.$$

13. Знаходимо масу котушки

$$M = \frac{\pi^2}{16} \gamma_{i\delta} K_o W = \frac{3,14^2}{16} \cdot 8,9 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 \cdot 226,6 \cdot 10^6 = 620 \text{ (}\hat{a}\text{)},$$

де $\gamma_{i\delta}$ – густина матеріалу проводу.

Приклад 7.2. Розрахувати основні конструктивні параметри фільтро-осаджувача другої групи (рис. 7.6) продуктивністю $Q=50$ м³/год і кількістю каналів $n=8$ при напруженості намагнічувального поля $H=40$ кА/м, середній індукції в стружковій насадці $B=0,33$ Тл і швидкості фільтрування $V=6\dots 8$ см/с (250 м/год).

Розв'язування

1. Діаметр каналу знаходимо за формулою:

$$D = \left[\frac{4Q}{(\pi V n)} \right]^{0,5} = \left[\frac{4 \cdot 50}{3,14 \cdot 250 \cdot 8} \right]^{0,5} = 0,18 \text{ (}\hat{i}\text{)}.$$

2. Знаходимо намагнічувальну силу котушки:

$$I \omega_B = 1,1 H D_\alpha = 1,1 \cdot 40 \cdot 0,18 = 8 \text{ (kA}\hat{i}\text{)}.$$

3. Діаметр осердя визначаємо зі співвідношення $d_c/D_\alpha = (B/B_c)^{0,4}$

$$d_c = \left(\frac{B}{B_c} \right)^{0,4} D_\alpha = \left(\frac{0,33}{1,3} \right)^{0,4} \cdot 0,18 = 0,1 \text{ (}\hat{i}\text{)} = 100 \text{ (}\hat{i}\text{)}.$$

де $B_c = (1,2...1,4)$ Тл – індукція відпаленої низьковуглецевої сталі.

4. Зі співвідношення $l_c/D_\alpha \leq 0,05$ Н/Н_c знаходимо довжину осердя

$$l_n \leq 0,05 \left(\frac{H}{H_c} \right) D_\alpha \leq 0,05 \left(\frac{40}{1,5} \right) \cdot 0,18 = 0,24 \text{ м} \leq 240 \text{ (і і)}.$$

де $I_c = (1...2)$ кА/м – напруженість відпаленої низьковуглецевої сталі.

5. Відстань між поясами осердь знаходимо, враховуючи, що

$$D_\alpha \leq l_i \leq 2D_\alpha,$$

$$180 \leq l_i \leq 2 \cdot 180,$$

$$l_i = \frac{180 + 2 \cdot 180}{2} = 270 \text{ (і і)}.$$

Приклад 7.3. Розрахувати основні конструктивні параметри фільтра-осаджувача з зовнішньою (рис. 7.7) намагнічувальною системою з постійних магнітів продуктивністю 500 м³/год, якщо напруженість намагнічувального поля $H=50$ кА/м, середня індукція в насадці $B=0,38$ Т, швидкість фільтрування $V=250$ м/год.

Розв'язування

1. Виходячи з продуктивності фільтра, приймаємо довжину насадки $L=4$ м. Тоді діаметр корпусу буде рівний

$$D_\alpha = \frac{L}{(2...3)} = \frac{4}{(2...3)} = 2...1,33 \text{ (і і)}.$$

Приймаємо $D_\alpha=1,6$ м.

2. Із співвідношення $\frac{a_i}{D_\alpha} \approx 0,6 \cdot \left(\frac{H}{H_A} \right)$ знаходимо товщину пакета магнітів

$$a_i \approx 0,6 \left(\frac{H}{H_A} \right) D_\alpha \approx 0,6 \left(\frac{50}{122} \right) \cdot 1,6 = 0,4 \text{ (і і)},$$

де $H_{\hat{a}}$ – середнє значення напруженості магнітного поля (для магнітів марки 22 PA 220 $H_{\hat{a}} = 122$ кА/м).

3. Ширину пакета магнітів визначаємо зі співвідношення $b_i / D_{\alpha} \approx \hat{E}_{\hat{o}} (\hat{A} / \hat{A}_{\hat{a}})$

$$b_i \approx \hat{E}_{\hat{o}} \left(\frac{\hat{A}}{\hat{A}_{\hat{a}}} \right) D_{\alpha} \approx 1,25 \cdot \left(\frac{0,38}{0,18} \right) 1,6 \approx 4,2 \text{ (і)},$$

де $\hat{E}_{\hat{o}} = 1 \dots 1,5$ – коефіцієнт розсіювання магнітного потоку;

$\hat{A}_{\hat{a}}$ – середнє значення індукції (для магнітів марки 22PA220 $\hat{A}_{\hat{a}} = 0,18$ Т).

Контрольні запитання

1. Розкрийте сутність процесу магнітного очищення газів та можливості його застосування.
2. Охарактеризуйте переваги магнітного очищення газів порівняно з їх традиційним очищенням.
3. Наведіть класифікацію основних груп апаратів для магнітофільтраційного очищення газів.
4. Розкажіть про особливості конструкції електромагнітних фільтрів з осердям-насадкою.
5. Поясніть вимоги до вибору та розрахунку конструкції фільтрів-осаджувачів.
6. Охарактеризуйте вимоги до багатополюсних фільтрів з „відділеними” електромагнітами.
7. Проаналізуйте переваги фільтрів з „відділеними” постійними магнітами.
8. Опишіть послідовність вибору та розрахунку фільтрувальних насадок для апаратів магнітофільтраційного очищення газів.

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ДО 8 РОЗДІЛУ

- M – величина викидів шкідливих речовин, г/с, кг/год, т/рік;
 g – питома кількість шкідливих речовин, г/к.с. виїзд;
 N – потужність двигуна автомобіля, к.с;
 σ – кількість спалюваного палива, г/с;
 l – довжина магістралі, м;
 V – середня швидкість автомобілів, км/год;
 ρ – питома густина палива, кг/л;
 K – число виїздів автомобілів з приміщення, виїзд/год;
 τ – час, с;
 K_1, K_2 – коефіцієнти впливу технічного стану і середнього віку автомобілів на викиди шкідливих речовин;
 m – питомі викиди шкідливих речовин, г/км²;
 z – пробіг автомобілів, км;
 K' – коефіцієнт, що враховує тип двигуна;
 n – число автомобілів;
 q – середня кількість палива, спалюваного однією машиною, кг/100 км, м³/100 км;
 q' – витрати палива однією машиною за 1 с, кг/с;
 C – коефіцієнт, який враховує інтенсивність руху автомобілів

Прийняті скорочення

- ВГ – відпрацьовані гази;
ОГ – очищені гази.

8 ПРОБЛЕМИ І ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Прямий негативний вплив автомобілів на навколишнє середовище зв'язаний з викидами шкідливих речовин в атмосферу і шумом. Автомобільні вихлопні гази – суміш приблизно 200 речовин. Це компоненти палива, частка яких різко зростає, якщо двигун працює на малих обертах або в момент збільшення швидкості при старті. В цей період виділяється більше всього незгорівших частинок: приблизно в десять разів більше, ніж при роботі двигуна в нормальному режимі. У вихлопних газах вмішуються також альдегіди, які мають різкий запах і подразнювальну дію, присутні нерозкладені вуглеводні палива.

Через неповне згорання палива в двигуні автомобіля частина вуглеводів перетворюється в сажу, яка вміщує смолисті речовини. Особливо багато сажі та смол утворюється при технічно несправному двигуні та при форсованій роботі двигуна.

Дуже шкідливою складовою частиною вихлопних газів є сполуки неорганічного свинцю. Вони утворюються в двигуні при згоранні тетраетилсвинцю, який додають в бензин.

Один вантажний автомобіль середньої потужності, що відповідає всім параметрам вимог заводів-виготовлювачів, з карбюраторним двигуном щорічно викидає окису вуглецю 3150 кг, вуглеводнів – 410 кг, окислів азоту – 335 кг. Викиди шкідливих речовин легкових автомобілів складають відповідно 510, 42 і 36 кг. В реальних умовах експлуатації ці характеристики рухомого складу погіршуються на 40...60% і навіть більше.

Побічний вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище зв'язаний з тим, що автомобільні дороги, стоянки, підприємства обслуговування займають все більшу і більшу площу, необхідну для життєдіяльності людини. Значну шкоду полям, лугам і лісамносять автомобілі, які рухаються по дорогах. Велику шкоду завдають забруднені води, що без очищення скидаються у водоймища. Осад з очисних споруд, миття автомобілів такожносять значну шкоду природі.

Захист навколишнього середовища від шкідливого впливу автомобільного транспорту проводиться за багатьма напрямками, починаючи з поліпшення технічного стану рухомого складу і закінчуючи створенням електромобілів та нових видів електричного транспорту.

8.1 Зниження забруднення атмосфери відпрацьованими газами шляхом економії палива

Забруднення атмосфери відбувається:

- відпрацьованими газами, які викидаються через вихлопну трубу;
- картерними газами;

- вуглеводнями внаслідок випаровування палива з бака, карбюратора і трубопроводів.

В складі відпрацьованих газів автомобіля найбільшу питому вагу до об'єму мають окиси вуглецю (0,5...10%), окисли азоту (до 0,8%), неспалені вуглеводні (0,2...3,0%), альдегіди (до 0,2%) і сажа. В абсолютних величинах на 1000 л палива карбюраторний двигун викидає з вихлопними і картерними газами: 200 кг окису вуглецю, 25 кг вуглеводнів, 20 кг окислів азоту, 1 кг сажі та 1 кг сірчаних сполук.

Сучасна автомобільна промисловість світу випускає тисячі автомобілів різного призначення, в тому числі більше 400 базових моделей легкових автомобілів: від легкових мікролітражних з двигунами об'ємом до 500 см³ і потужністю 15...18 кВт до автомобілів вищого класу з двигунами 160...250 кВт і більше. Типаж вантажних автомобілів і автобусів ще більш різноманітний.

Вітчизняні легкові автомобілі витрачають в середньому 10 л палива на 100 км шляху. Середньотонажні вантажні автомобілі витрачають 20...30 л на 100 км пробігу. У важких вантажних автомобілів і тягачів (автопоїздів) витрата палива досягає 40...50 л на 100 км пробігу. Те ж можна сказати і про міські автобуси великої та особливо великої місткості.

Для кожного типу двигуна (карбюраторного або дизельного) при інших різних умовах кількість забруднювальних речовин, що виділяються в атмосферу, пропорційна витратам палива. Тому економія палива одночасно означає скорочення викидів токсичних речовин в атмосферу.

Підвищення паливної економичності автомобіля досягається, головним чином, за рахунок удосконалення процесів згорання в двигунах:

- пошарове спалювання палива;
- форкамерно-факельне спалювання;
- застосування підігріву і випаровування палива у впускному тракті;
- використання електронного запалювання.

Додатковими резервами підвищення економичності автомобіля є:

- зниження маси автомобіля за рахунок удосконалення його конструкції та застосування неметалевих і високостійких матеріалів;
- поліпшення аеродинамічних показників кузова;
- зниження опору повітряних фільтрів і глушителя, вимкнення допоміжних агрегатів, наприклад, вентилятора тощо;
- зниження маси палива (неповне заповнення баків) і маси інструментів, що перевозяться;
- застосування покришок з радіальним розташуванням корду для зниження опору катання колеса;
- застосування ЕОМ для вибору оптимального режиму роботи двигуна залежно від дорожніх умов;

- використання систем виключення з роботи ряду циліндрів двигуна у випадку, коли від нього не потребується велика потужність тощо.

Першочергове значення для зменшення забруднення атмосфери автомобілями має їх технічний стан. Повністю справний автомобіль витрачає менше палива і уже цим сприяє зниженню рівня забруднення повітря. Але головну увагу необхідно направити на справний стан паливної апаратури і системи запалювання.

Не меншу роль у справі зниження витрат палива відіграють досконалість руху на вулицях і дорогах та майстерність водіння автомобіля, яка полягає в тому, щоб як можна менше мати зупинок, а відповідно, холостого ходу, розгонів і сповільнень, під час яких зростають витрати палива і значно збільшується кількість забруднень, що отруюють атмосферу.

8.2 Удосконалення двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ)

Вдосконалення існуючих двигунів проводиться за такими основними напрямками:

- поліпшення системи запалювання;
- зміна процесів подання палива в циліндри двигуна;
- встановлення додаткових приладів, які зменшують вміст шкідливих компонентів у відпрацьованих газах.

Система запалювання значно впливає на процеси згорання палива. Відомо, що система іскрового запалювання робочої суміші за допомогою традиційного розподільника-переривника не завжди задовольняє сучасні вимоги, пов'язані з повним згоранням палива. Цей прилад достатньо „капризний”. В умовах експлуатації він не завжди надійно здійснює запалювання суміші, а це супроводжується підвищенням у вихлопі продуктів неповного згорання окису вуглецю і неспаленого палива.

Значне поліпшення в цьому відношенні дає застосування безконтактного електронного запалювання, яке забезпечує більш потужний розряд на свічках запалення і відрізняється більшою стабільністю роботи. В наш час система електронного запалювання знаходить все більше розповсюдження. На деяких нових моделях зарубіжних автомобілів ця система доповнюється мікро-ЕОМ, яка автоматично оцінює момент випередження запалювання суміші, залежно від навантаження на двигун і швидкості руху, оптимізує витрати палива і склад відпрацьованих газів.

Для поліпшення процесу згорання палива в циліндрі широке застосування знаходить форкамерне або факельне запалювання. Суть його полягає в тому, що в малій форкамері багата суміш підпалюється, як звичайно, електричною іскрою, а утворений при цьому потужний факел полум'я запалює основну частину більш бідної робочої суміші в циліндрі,

що супроводжується поліпшенням згорання палива. Такі двигуни дозволяють зменшити викиди всіх токсичних компонентів, включаючи й окисли азоту, і при цьому економити до 10% палива. Названа система застосовується, зокрема, на двигунах нової моделі автомобіля ГАЗ-3102.

Зміна процесів подання палива в циліндри досягається низкою заходів.

Перший з них – це спроба встановлення на двигуні двох карбюраторів, відрегульованих на подання бідної робочої суміші та нормальної робочої суміші. Відповідно перший карбюратор живить двигун на холостому ході, а другий – на робочих режимах.

Пізніше були розроблені нові, більш складні конструкції карбюраторів, здатних а одному блоці поєднувати вказані функції і готувати необхідний склад робочої суміші на будь-який режим роботи двигуна.

Другий захід полягає в зміні клапанного механізму з метою більш тонкого розпилення і кращого перемішування суміші при надходженні її в циліндри. В ряді нових конструкцій передбачається регулювання висоти піднімання впускних клапанів залежно від навантаження, що поліпшує процес заповнення циліндрів сумішшю і її згорання.

Третій захід полягає в заміні карбюратора форсунками для безпосереднього вприскування палива у впускний трубопровід або в циліндри. Ця система забезпечує найкраще розпилювання палива і перемішування його з повітрям, а також розподілення суміші в окремі циліндри.

Система безпосереднього вприскування особливо ефективна в поєднанні з електронним управлінням, яке автоматично дозує паливо залежно від режиму роботи двигуна. При цьому не тільки знижується токсичність газів і збільшується економія, а й підвищується потужність двигуна на 10...20%.

8.3 Методи знешкодження відпрацьованих газів

Нейтралізатор – це невеликий прилад, призначений для спалювання токсичних відпрацьованих газів шляхом допалювання продуктів неповного згорання (CO, CH, SO) і розкладання окислів азоту на складові елементи – азот і кисень. Відомі рідинні, каталітичні, термічні та комбіновані нейтралізатори.

Принцип дії рідинних нейтралізаторів ґрунтується на розчиненні або хімічній взаємодії токсичних компонентів відпрацьованих газів при пропусканні їх через рідину певного складу: воду, водний розчин сульфату натрію, водний розчин двовуглекислої соди.

На рис. 8.1 наведена схема рідинного нейтралізатора, яка застосовується з двотактним дизельним двигуном. Відпрацьовані гази надходять в нейтралізатор трубою 1 і через колектор 2 потрапляють в бак 3, де всту-

пають в реакцію з робочою рідиною. Очищені гази проходять через фільтр 4, сепаратор 5 і викидаються в атмосферу. При випаровуванні рідину доливають в робочий бак з додаткового бака 6.

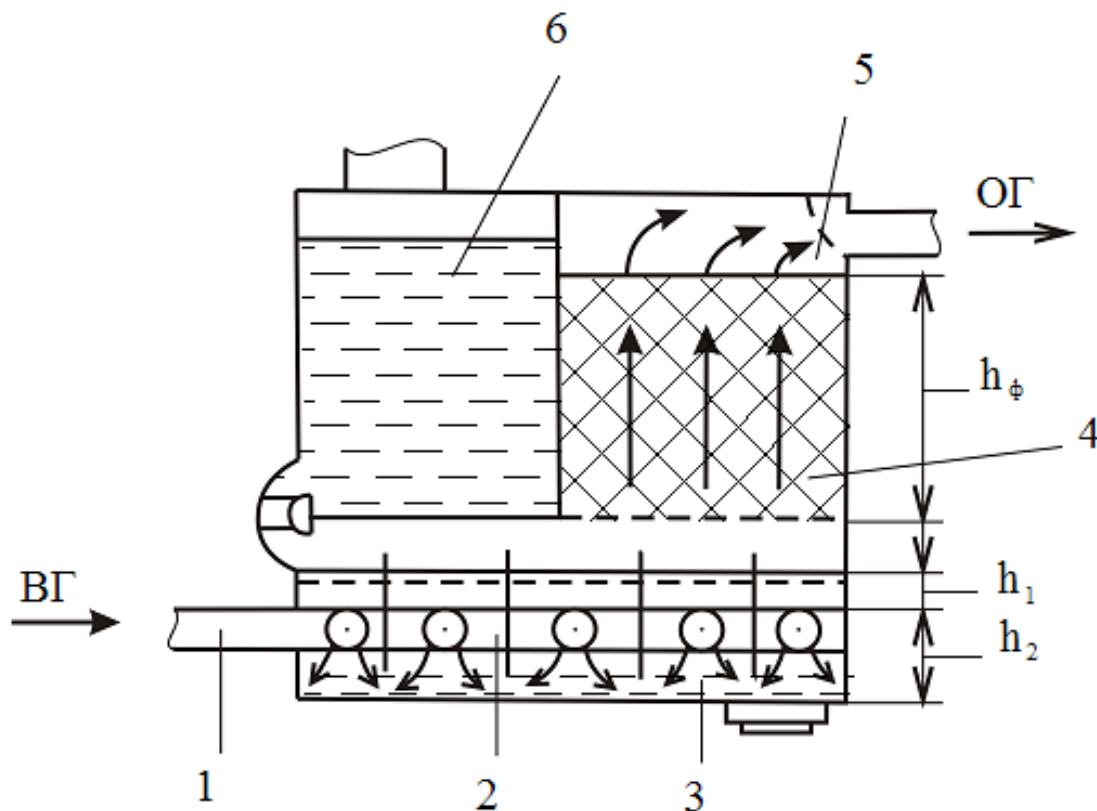


Рисунок 8.1 – Схема рідинного нейтралізатора:
 1 – впускна труба; 2 – колектор; 3 – робочий бак з рідиною;
 4 – фільтр; 5 – сепаратор; 6 – додатковий бак

Пропускання відпрацьованих газів через воду приводить до зменшення запаху, альдегіди поглинаються з ефективністю до 5%, а ефективність очищення від сажі досягає 60...80%. При цьому трохи зменшується вміст бензапірену у відпрацьованих газах. Температура газів після рідинного очищення складає 40...80°C, приблизно до цієї ж температури нагрівається і робоча рідина. При зниженні температури процес очищення протікає інтенсивніше.

Рідинні нейтралізатори не потребують часу для виходу на робочий режим після пуску холодного двигуна. Недоліки рідинних нейтралізаторів:

- велика маса і габарити;
- необхідність частої заміни робочого розчину;
- неефективність відносно CO;
- мала ефективність (50%) відносно NO₂;
- інтенсивне випаровування рідини.

Проте використання рідинних нейтралізаторів в комбінованих системах очищення може бути раціональним, особливо для установок, відпрацьовані гази яких повинні мати низьку температуру при надходженні в атмосферу.

При розрахунку рідинного нейтралізатора визначають його основні розміри і необхідну кількість розчину для роботи протягом певного часу. Нейтралізатор, який застосовується для дизельних автосамоскидів МАЗ, – це металева стальна конструкція прямокутної форми висотою 530 мм, шириною 608 мм з вмістом у робочому баку 55 л розчину.

Середні значення концентрацій шкідливих компонентів відпрацьованих газів до і після рідинного нейтралізатора, одержані на самоскиді МАЗ-5335, наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Ефективність очищення газів рідинними нейтралізаторами

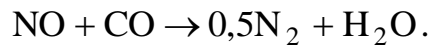
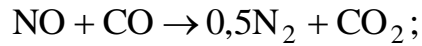
Речовина	Концентрація частки, %		Ступінь очищення, %
	до іонізації	після іонізації	
CO	0,06	0,06	0
NO ₂	0,002	0,001	50
Альдегіди	0,0144	0,003	98
SO ₂	0,008	0	100

Каталітична нейтралізація відпрацьованих газів ДВЗ на поверхні твердого каталізатора відбувається за рахунок хімічних перетворень (реакції окислення або відновлення), внаслідок яких утворюються нешкідливі або малшкідливі для навколишнього середовища і здоров'я людини сполуки.

Каталізатори на основі благородних металів (платина, паладій, рутеній, радій тощо) найбільш широко використовують для очищення відпрацьованих газів ДВЗ. Ці каталізатори характеризуються хорошою селективністю в реакціях нейтралізації токсичних компонентів, низькими температурами початку ефективної роботи, достатньою температуростійкістю, довговічністю і здатністю стійко працювати при високих швидкостях газового потоку. Основний недолік каталізаторів цього типу – їх висока вартість.

Для нейтралізації відпрацьованих газів NO_x, CO і C_nH_m застосовують двоступеневий каталітичний нейтралізатор (рис. 8.2).

Відпрацьовані гази надходять до відновлюваного каталізатора 3, на якому нейтралізація окислів азоту відбувається за реакцією (для ДВЗ з іскровим запалюванням NO_x на 99% складається з NO)



Для забезпечення відновлювального середовища перед першим ступенем нейтралізатора двигун повинен бути відрегульованим для роботи з α (кутом випередження запалювання суміші), близьким до стехіометричного. При $\alpha > 1,05$ активність каталізатора різко зменшується (середовище стає окислювальним).

Після відновлювального каталізатора до відпрацьованих газів для створення окислювального середовища підводиться через патрубок 4 вторинне повітря. На окислювальному каталізаторі відбувається нейтралізація продуктів неповного згорання CO і C_nH_m . Основними процесами є окислення окису вуглецю і вуглеводнів:

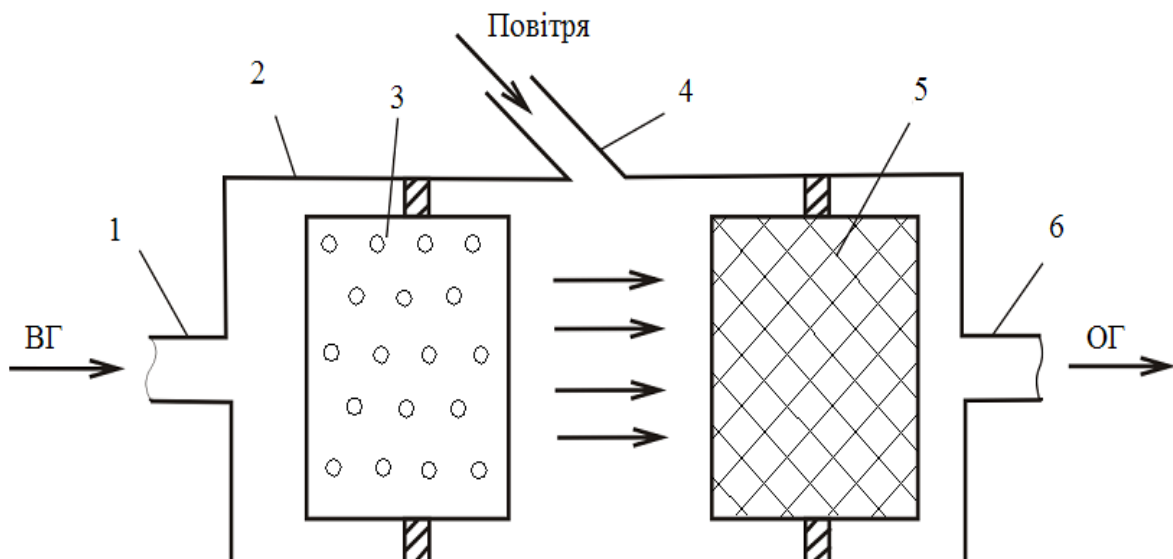
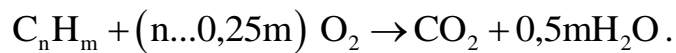
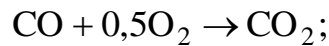


Рисунок 8.2 – Схема двокамерного каталітичного нейтралізатора: 1 – впускний патрубок; 2 – корпус; 3 – каталізатор нейтралізації окислів азоту; 4 – патрубок для додаткового повітря; 5 – каталізатор окислення CO і C_nH_m ; 6 – випускний патрубок

Результати випробувань автомобіля з двоступеневим каталітичним нейтралізатором (в 1-му ступені – мідно-нікелевий сплав, у 2-му – платина) наведені в табл. 8.2.

Каталітичні нейтралізатори конструктивно складаються з вхідного і вихідного пристроїв, корпусу і вміщеного в ньому реактора.

Таблиця 8.2 – Ефективність роботи каталітичного двокамерного нейтралізатора

Автомобіль	Концентрація токсичних речовин		
	NO _x , мг/м ³	C _n H _m , %	CO, мг/м ³
Без нейтралізатора	1759	100	9100
З нейтралізатором	283	46	3500
Ефективність, %	83,9	54	61,5

Розроблені каталітичні нейтралізатори (рис. 8.3) для відпрацьованих газів ДВЗ транспортних засобів з бензиновими і дизельними двигунами. Каталітичні нейтралізатори знижують у відпрацьованих газах (ВГ) вміст CO на 70...90%, C_nH_m – на 50...85%. Основні параметри каталітичних нейтралізаторів для автобуса ЛА3-5256 такі: об'єм реактора 2,5 дм³; довжина 553 мм; ширина 307 мм; висота 243 мм; маса 15 кг.

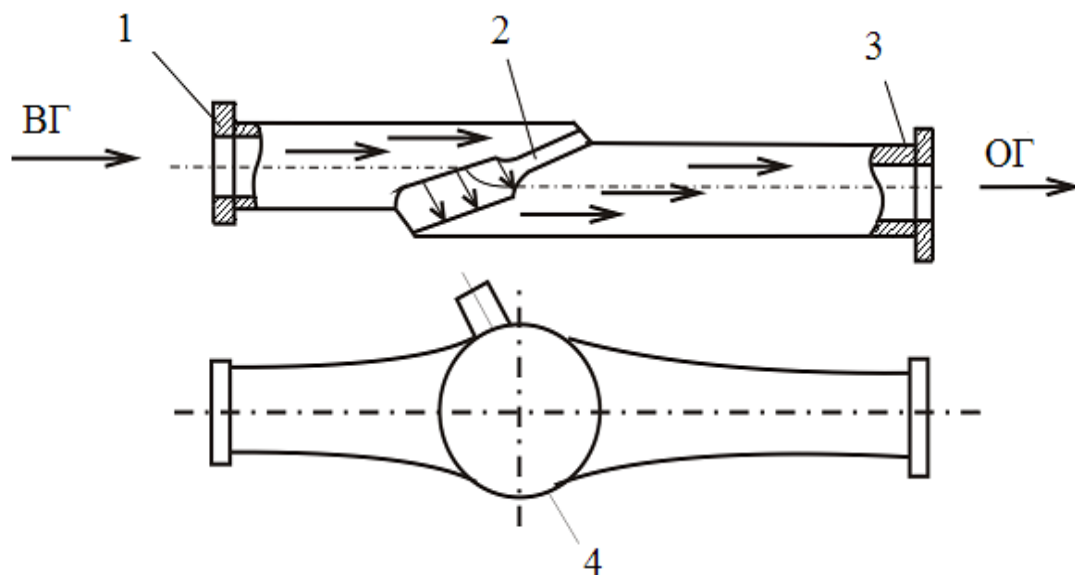


Рисунок 8.3 – Каталітичний нейтралізатор для бензинового ДВЗ:
1 – вхідний патрубок; 2 – реактор; 3 – корпус; 4 – вихідний патрубок

Схема встановлення каталітичного нейтралізатора в системі ДВЗ наведена на рис. 8.4. Відпрацьовані гази від двигуна 1 надходять випускною трубою 2 до каталітичного нейтралізатора 3, після чого

викидаються в атмосферу. Для підтримання необхідної температури газів у нейтралізаторі використовується електронний блок 4, який регулює клапаном 5 подання повітря через ресивер 6 і зворотний клапан 7 з атмосфери в нейтралізатор.

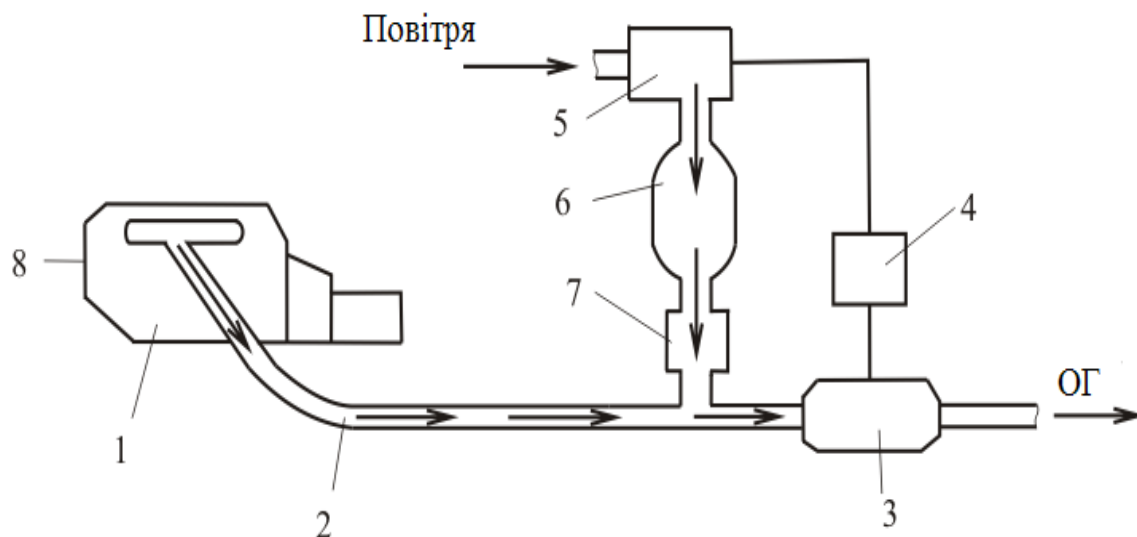


Рисунок 8.4 – Схема встановлення каталітичного нейтралізатора:
1 – двигун; 2 – випускна труба; 3 – каталітичний нейтралізатор; 4 – електронний блок; 5 – регулювальний клапан; 6 – ресивер; 7 – зворотний клапан

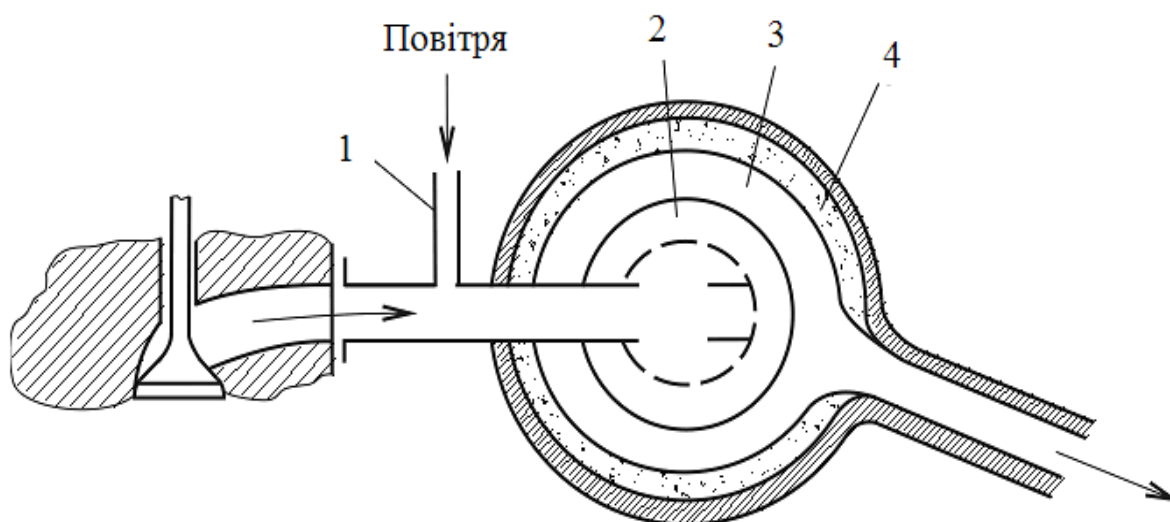


Рисунок 8.5 – Схема термічного реактора:
1 – жарова труба; 2 – повітряний прошарок; 3 – шар азбесту;
4 – трубопровід для повітря

Термічні нейтралізатори, встановлені за випускним трубопроводом, здійснюють полум'яне допалювання окису вуглецю CO і перетворення

його у вуглекислий газ CO_2 , а також спалювання неспалених в циліндрі вуглеводнів і альдегідів. Для інтенсифікації допалювання в камеру терморектора подається додаткове повітря. Реакція окислення проходить при температурі $500\text{...}600^\circ\text{C}$ і зменшує наявність вуглеводнів приблизно в 2 рази, а окису вуглецю – в $2\text{...}3$ рази.

На нових автомобілях терморектори розміщують у випускній системі двигуна з відповідними змінами в цій частині конструкції двигуна для нейтралізації картерних газів.

Схема термічного реактора наведена на рис. 8.5. Це – жарова труба 1, в якій забезпечується збільшення часу перебування відпрацьованих газів шляхом неодноразової зміни їх руху. Ця труба повітряним прошарком 2 і шаром кераміки чи азбесту 3 ізольована від корпусу. Перед тим, як відпрацьовані гази надходять в термічний реактор, до них в певному співвідношенні підмішується повітря через трубопровід 4.

Внаслідок хорошої теплоізоляції, а також виділення тепла в деяких режимах при окисленні CO і C_nH_m в жаровій трубі підтримується температура, яка забезпечує ефективне окислення продуктів неповного згорання.

Одна з різновидностей термічних реакторів – полум'яні доспалювачі, в яких підтримується горіння шляхом подання палива і повітря. При попаданні відпрацьованих газів в такі доспалювачі відбувається допалювання продуктів неповного згорання у факелі полум'я.

На бензинових двигунах – перспективні термічні реактори, які працюють на сильно збіднених паливно-повітряних сумішах. В цьому випадку виключається необхідність подання додаткового повітря. Ефективним при цьому є використання також комбінованих нейтралізаторів термічного і каталітичного, при яких забезпечується зниження всіх основних шкідливих речовин бензинових двигунів.

Для вловлювання сажі у відпрацьованих газах дизельних двигунів застосовується декілька конструкцій пристроїв, які використовують як принцип електростатичного очищення, так і метод фільтрації.

Одним з кращих конструктивних рішень вважається установка фільтрів регенеративного типу. Фільтр (рис. 8.6, а) – це сотова конструкція з вічками прямокутного перерізу.

Матеріал фільтра – пористий кордієрит – має достатню міцність, стійкість до агресивних хімічних речовин, опір до оплавлення і утворення тріщин при теплових впливах, а також термічну стабільність. Фільтр (рис. 8.6, б), виконаний у вигляді декількох послідовно розташованих пористих перегородок, має високу ефективність очищення.

Накопичені у фільтрі частинки необхідно видаляти переважно термічним окисленням. Для цього відхідні гази нагрівають до 460°C і більше, що приводить до загорання накопиченої сажі.

- кришки 2 паливно-заправної горловини бака з двостороннім запобіжним клапаном для запобігання надлишкового тиску чи розрідження в баку;

- адсорбера 6 для поглинання парів палива при вимкненому двигуні з системою повернення 5 парів у впускний тракт двигуна під час його роботи. Як адсорбер використовують активоване вугілля.

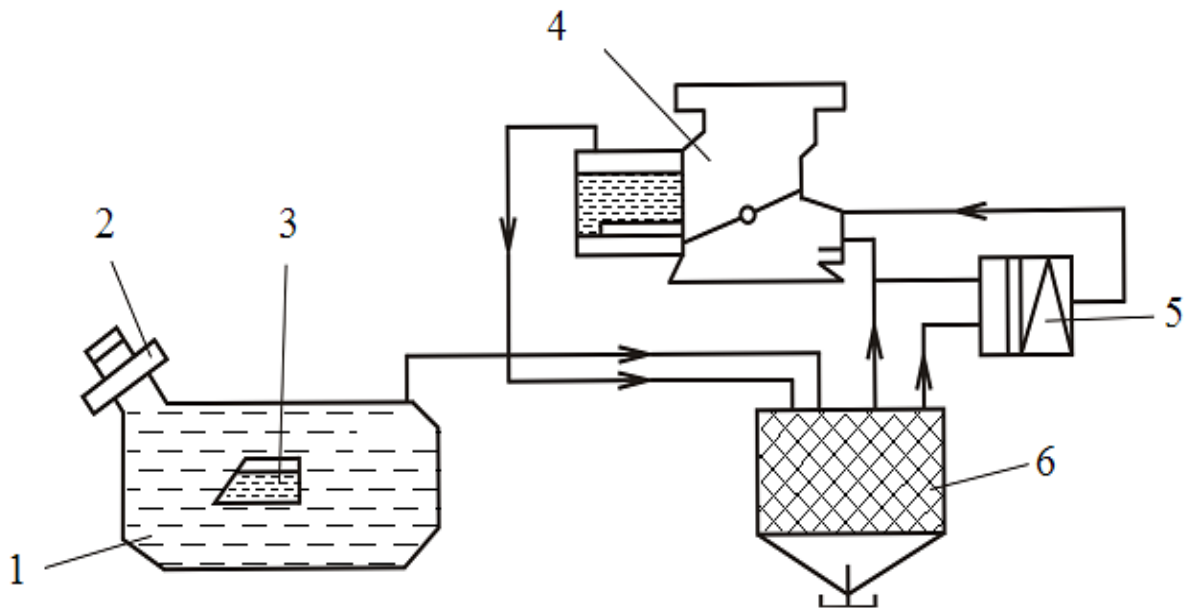


Рисунок 8.7 – Схема вловлювання парів палива бензинового ДВЗ:

1 – паливний бак; 2 – кришка паливно-заправної горловини;
3 – компенсувальна ємність; 4 – карбюратор; 5 – поворотний клапан;
6 – адсорбер

8.4 Альтернативні двигуни

На поліпшення екологічних показників транспортних засобів великий вплив має тип застосовуваного двигуна. Альтернативою карбюраторному двигуну є дизельний як більш економічний і менш токсичний.

В табл. 8.4 наведено порівняння токсичності відпрацьованих газів в карбюраторних двигунах і дизельних.

Аналіз даних, наведених в таблиці 8.4, показує, що дизельний двигун виділяє значно менше окису вуглецю і вуглеводнів. В його відпрацьованих газах міститься навіть менше окислів азоту, якщо за цим компонентом його порівнювати з бензиновими двигунами з особливо великим ступенем стиску. Проте великими недоліками дизелів є димність, неприємний запах і більш високий рівень шуму. Дизельні двигуни викидають в більшій кількості сажу, яка в чистому вигляді нетоксична. Проте частинки сажі,

маючи високу адсорбційну властивість, несуть на своїй поверхні частинки токсичних речовин, в тому числі і канцерогенних. Сажа може довгий час знаходитися в завислому стані в повітрі, збільшуючи цим час дії токсичних речовин на людину.

Таблиця 8.4 – Токсичність вихлопних газів у карбюраторних і дизельних двигунах

Компоненти	Вміст компонента, загальні частки, %		
	карбюраторні ДВЗ	дизельні ДВЗ	
N ₂	74 ÷ 77	76 ÷ 78	
O ₂	0,3 ÷ 8	2 ÷ 18	
H ₂ O (пари)	3,0 ÷ 5,5	0,5 ÷ 40	нетоксичні
CO ₂	5,0 ÷ 12,0	1,0 ÷ 10,0	
H ₂	0 ÷ 5,0	-	
CO	0,5 ÷ 12,0	0,01 ÷ 0,50	
(NO _x в перерахунку на N ₂ O ₅)	до 0,8	0,0002 ÷ 0,5	
C _n H _m	0,2 ÷ 3,0	0,009 ÷ 0,5	токсичні
Альдегіди	до 0,2 мг/л	0,001 ÷ 0,09 мг/л	
Сажа	0 ÷ 0,04 г/м ³	0,01 ÷ 1,1 г/м ³	
Бензапірен	10 ÷ 20 мкг/м ³	до 10 мкг/м ³	

Склад відпрацьованих газів ДВЗ залежить від режиму роботи двигуна. У двигуна, який працює на бензині, при неусталених режимах (розгін, гальмування) порушуються процеси утворення суміші, що сприяє підвищеному виділенню токсичних продуктів. В дизельних двигунах зі зменшенням навантаження склад горючої суміші збіднюється, тому вміст токсичних компонентів у відпрацьованих газах при малому навантаженні зменшується. Вміст CO і C_nH_m збільшується при роботі в режимі максимального навантаження.

Незважаючи на деякі недоліки, можливість працювати на більш дешевому паливі, більш висока теплова економічність (експлуатаційний ККД дизелів 30...35% замість 20...25% у карбюраторних двигунів), можливість одержання відносно великих потужностей визначили дизелю домінуюче положення у світовому вантажному автомобільному парку і парку автобусів. В наш час перевага надається випуску також легкових автомобілів з дизельними двигунами.

У Німеччині, Японії, Франції і Росії розроблені і виготовлені **роторні двигуни**. Це – бензиновий двигун, який має принципово іншу конструкцію основного силового агрегату. У роторного двигуна немає циліндрів і шатунно-кривошипної групи. Замість поршнів з їх зворотно поступальним рухом він має обертовий ротор, який передає обертальний момент через зубчасту передачу.

Не розбираючи докладно конструктивні та техніко-економічні характеристики цього двигуна (менша маса, компактність, високооборотність, велика питома потужність на одиницю маси, простота виробництва, відсутність вібрації, здатність працювати на паливі з низьким октановим числом тощо), відмітимо, що він дає трохи менший токсичний вихлоп внаслідок меншого вмісту окислів азоту. В зв'язку з конструктивними особливостями і компактністю роторний двигун полегшує встановлення додаткових приладів для очищення відпрацьованих газів і поліпшує протікання реакції в них завдяки вищій температурі відпрацьованих газів (незважаючи на нижчу температуру згорання).

Протягом останніх 40...45 років проводяться дослідження і експериментальне конструювання **газотурбінних двигунів** для автомобілів. Відмічаються такі переваги цих двигунів, як малий шум, відсутність вібрації, можливість працювати без системи водяного охолодження і достатньо чисті відпрацьовані газы.

Вимоги зберегти в чистоті повітряний басейн змусили деяких конструкторів знову повернутися до майже забутої ідеї створення **парового автомобіля**. В США, Японії, Австралії та ряді європейських країн зроблені спроби створити зразки сучасних парових автомобілів різних категорій. Конструкція їх включає водотрубний парогенератор, двигун – парову машину високого тиску, допоміжну машину низького тиску (для приведення в дію водяного насоса та вентилятора радіатора) і допоміжне обладнання.

Сам по собі паровий двигун екологічно абсолютно чистий. Він або дає вихлоп водяної пари, або не дає ніякого вихлопу, якщо робочий цикл замкнутий і відпрацьований пар конденсується, а потім у вигляді води знову надходить у котел. Але атмосфера забруднюється відпрацьованими газами пальника (топки) котла. Токсичність відпрацьованих газів при газовому чи дизельному паливі значно нижча, ніж у дизелів.

В наш час відродилася цікавість до двигуна зовнішнього згорання, ідея якого була запропонована Р. Стирлінгом ще в 1816 р. Використовуючи цю ідею, інженери голландської фірми „Філіпс” після 20 років праці створили цілком роботоздатну конструкцію **двигуна Стирлінга**.

Сучасний двигун зовнішнього згорання – це герметично закритий циліндр, заповнений над поршнем стиснутим гелієм або воднем. При

згорянні палива газ через стінку циліндра нагрівається і опускає поршень. Відпрацьований газ направляється в камеру охолодження, а поршень повертається в початкове положення. Після цього порція холодного газу надходить в камеру розширення (над поршнем) для нагрівання і робочого ходу.

Крім високого ККД, рівного 35...40% і більше, двигун зовнішнього згорання може працювати на будь-якому паливі та дає мінімальне забруднення повітря окислом вуглецю і вуглеводнями, оскільки паливник працює в стабільному режимі з оптимальними співвідношеннями палива і повітря. Він практично безшумний.

Інерційний двигун (маховик) – найстародавніший двигун, тому що гончарний круг, якому більше 5 тис. років, фактично є маховиком. Більше 100 років назад російський інженер В. І. Шубарський дослідив можливість маховика як транспортного двигуна. Проте ця ідея була реалізована в середині ХХ ст. В цей період в Швейцарії були виготовлені міські „жиробуси”. В США розроблений і випущений в кінці 70-х років оригінальний легковий автомобіль.

Основою двигуна на цих машинах є маховик, який перед початком руху розкручується до 3000...15000 об/хв від зовнішньої електромережі. Потужність маховика передається тяговому електродвигуну, а потім на ведучі передні колеса. Після витрачання енергії на 60% проводиться повторне підзарядження.

Великою перевагою маховика є його екологічна чистота, практична безшумність і високий ККД.

Електричний двигун. В наш час головні зусилля вчених і конструкторів направлені на те, щоб, використовуючи існуючі типи джерел струму, шляхом їх удосконалення створити і передати в експлуатацію електромобілі, екологічно і технічно здатні конкурувати зі звичайними автомобілями. Наступні етапи розвитку електромобілів пов'язують з їх серійним і масовим виробництвом і поступовим збільшенням частки в автомобільному парку.

Електромобіль – ідеальний автомобіль для міста. Він нетоксичний, невогнебезпечний, малошумний, легко керується, його двигун здатний до короткочасних перевантажень і має хорошу тягову характеристику. Електромобіль не потребує складних трансмісій і багатьох систем, характерних для звичайного сучасного автомобіля.

8.5 Пошук нових видів палива

Поряд з кардинальними рекомендаціями робляться спроби створити присадки і домішки до звичайного палива, які могли б понизити токсичність відпрацьованих газів автомобілів.

В багатьох країнах світу проводяться дослідження в пошуках нового „чистого” антидетонатора для заміни тетраетилсвинцю, у відходах якого знаходиться багато дуже шкідливого для людини свинцю.

В нашій країні закінчені наукові та експериментальні роботи щодо створення нового антидетонатора на марганцевій основі. Така присадка, зі скороченою назвою ЦТМ, в 50 разів менш токсична, ніж тетраетилсвинець. Крім того в неї є ще одна важлива перевага: ЦТМ, на відміну від свинцевої присадки, не погіршує роботу каталітичних нейтралізаторів відпрацьованих газів. Додаток ЦТМ в кількості 2% підвищує октанове число бензину А-80 до 93 одиниць.

Для зменшення в складі відпрацьованих газів, головним чином, сажі в дизельне паливо вносять металоорганічні сполуки на основі свинцю, міді, нікелю, хрому або інших речовин. Навіть в кількості 0,01% до загальної маси палива ці присадки значно знижують димність відпрацьованих газів, а найкращий результат досягається при їх вмістові в розмірах 0,02...0,25%. Такі присадки вносять на стадії підготовки палива (на нафтоперегонних заводах).

Заслуговує уваги використання водобензинової суміші, яка подається в двигун у вигляді тонкої емульсії, що одержується в процесі перемішування з допомогою невеликих домішок поверхнево активних речовин. Лабораторні досліди, а також практичні дослідження довели реальну можливість використання водобензинових сумішей. У відпрацьованих газах вантажного автомобіля ЗІЛ-441510, який працює на емульсії з вмістом 12% води, було виявлено в 2 рази менше окису вуглецю порівняно з автомобілем, який працює на чистому бензині. Крім того зафіксована деяка економія палива, а також відсутність схильності палива до детонації, що свідчить про підвищення октанового числа в таких сумішах на 5...10 одиниць проти бензину А-80, з яким проводився експеримент. Остання обставина дозволяє підвищити ступінь стиску (паливну економічність) в автомобілях і одночасно відмовитися від використання свинцю як присадки, підвищуючи „чистоту” палива і одночасно економлячи дефіцитний свинець.

В пошуках альтернативних видів палива особливо великі роботи ведуться з газовим паливом, синтетичними спиртами, аміаком і воднем.

Як газове паливо найбільше розповсюдження одержала суміш нафтових газів – пропану і бутану. Октанове число пропан-бутану перевищує 100, що дозволяє застосовувати високі ступені стиснення. Цінною якістю газового палива є його висока екологічна чистота. Досліди показали, що двигун, який працює на пропан-бутані, на холостому ході має у відпрацьованих газах в 4 рази менше окису вуглецю, а в робочому режимі – в 10 раз менше, ніж у бензинового.

Прийняття автомобілів з бензиновими двигунами, особливо великих, тобто вантажних і автобусів, до газового палива здійснюється

порівняно просто. Деяких змін потребує лише паливна система. Головне – це встановлення балонів для зрідженого газу, де підтримується тиск біля 1,6 МПа. Якщо автомобіль призначається для роботи і на бензині, і на газі, то на ньому зберігається звичайний бензиновий бак. Такі автомобілі в межах міста можуть працювати на газі, а за його межами – на бензині.

Крім стиснутого газу використовується зріджений природний газ. На автомобілі встановлюється криогенний бак, в якому знаходиться 160 л зрідженого метану з температурою кипіння 160°C. Пробіг становить 300 км.

Відпрацьовані гази автомобіля, який використовує зріджений газ, не мають специфічного для бензинового автомобіля неприємного різкого запаху. Оскільки автомобілі на природному газі за екологічними показниками в 5...6 разів чистіші бензинових або дизельних, проводиться поступове переведення вантажних автомобілів, автобусів, маршрутних таксі та легкових таксомоторів на природний газ.

Нові екологічні умови змусили повернутися до спиртового палива, яке використовувалося в двигунах внутрішнього згорання вже на початку ХХ ст. Найбільш перспективні – метанол і етанол.

Метанол або метиловий спирт отримують з вугілля, сланців, деревини і використовують для виробництва пластмас, формаліну та в інших цілях. Він трохи важчий бензину, а енергоємність його в 2 рази менша. Тому для збереження дальності пробігу за паливом бак для метанолу повинен бути в 2 рази більший. Запуск двигуна на чистому метанолі, особливо зимою, утруднений.

Важлива якість метанолу полягає в тому, що у відпрацьованих газах в 2...3 рази менше токсичних компонентів, ніж при використанні бензину.

Етанол або етиловий спирт при тій же густині, що і метанол, має енергоємність на 25...30% вищу і, отже, потребує пропорційно меншої ємності паливного бака. Екологічні характеристики етанолу близькі до метанолу. Проте у двигунів, які працюють на етанолі, у відпрацьованих газах ще менше виділяється вуглеводнів.

Аміак в звичайних умовах – це токсичний газ з різким запахом. Проте при його згоранні утворюється тільки один токсичний компонент – окис азоту, причому в значно меншій кількості, ніж при згоранні інших видів вуглеводневого палива. Це пояснюється значно нижчою температурою робочого процесу.

Для роботи на цьому паливі двигуни повинні бути змінені в зв'язку з необхідністю підвищення ступеня стиску, посилення системи запалювання і підігрівання робочої суміші у випускному колекторі. Для активізації процесу в деяких дослідах застосовувалось вприскування запалювального палива, факел якого прискорює запалювання основної аміачної суміші та її горіння.

Водень, з точки зору збереження навколишнього середовища, це ідеальне паливо. Згораючи в чистому кисні, він перетворюється у воду. Якщо його одержувати з води шляхом електролізу, то процес замикається: вода-водень-вода. Ресурси цього палива колосальні й постійно відновлюються. Водень може стати універсальним паливом, ось чому його називають паливом майбутнього. Для одержання водню можуть бути застосовані різні термохімічні, електрохімічні чи біохімічні методи з використанням енергії Сонця, атомних і гідравлічних електростанцій тощо.

Газоподібний, навіть сильно стиснутий водень невігідний, тому що для його зберігання потрібні балони великої маси. Більш реальний варіант – використання рідкого водню, але для цього необхідно встановлювати дорогі криогенні баки зі спеціальною термоізоляцією.

Можлива ще одна форма зберігання водню – в твердій фазі в складі деяких металогідридів (наприклад, залізотитанового або магнієвого). Водень виділяється з гідриду, якщо його підігрівати, наприклад, відпрацьованими газами або гарячою водою з системи охолодження.

В нашій країні і за рубежом уже створені експериментальні автомобілі, які використовують водень у рідкому вигляді та в складі металогідридів як основне паливо або в суміші з бензином. Так, домішка 5...10% водню зменшує витрати палива; при цьому значно скорочуються шкідливі викиди.

Бензоводнева суміш дозволяє економити на 100 км пробігу більше 5 л дефіцитного бензину. На цьому перспективному пальному здатний працювати принципово новий двигун, створений вченими інституту проблем машинобудування АН України. Він обладнаний металогідридним акумулятором і спеціальною паливною апаратурою. Дослідна партія мікроавтобусів РАФ з новим двигуном випущена в 1984 р.

Водень і паливо на його основі можуть використовуватися і в сучасних автомобільних двигунах без значних конструктивних змін останніх.

При спалюванні бензоводневої суміші немає отруйних відходів. Чистий вихлоп автомобілів обумовлений різким збільшенням ступеня згорання бензину. Якщо в звичайних умовах частина бензину не згорає через нестачу повітря і переходить в продукти неповного згорання, в отруйні речовини, то водень, відіграючи роль чистильника, перетворює паливно-повітряну суміш з величини постійної в змінну з оптимальним співвідношенням повітря і палива на тих чи інших режимах роботи. Це забезпечує мінімальну токсичність відпрацьованих газів і максимальну паливну економічність двигуна. 10...15%-на домішка водню знижує загальні витрати бензину наполовину.

8.6 Автоматизовані системи управління міським транспортом

Зниженню шкідливих викидів автомобілів сприяє рівномірний рух машин на вулицях, ліквідація заторів, скорочення затримок транспорту на перехрестях.

Нелегко рухатися в міському транспортному потоці, особливо в години пік. Поволі накопичується дратівливість: швидкість зменшується, довго і, здається, зовсім невинувато затримують світлофори, нагрівається двигун, безцільно згорає паливо. А щільність руху в містах все зростає і тенденція ця буде зберігатися. Можливості ж теперішньої вуличної мережі небезмежні. Будівництво нових, просторих магістралей не завжди можливе. По-перше, воно трудомістке, дороге і вимагає багато часу. По-друге, багато наших міст мають великі райони старовинної забудови, що є історичною цінністю. До того ж, як показує досвід, і сучасні міські автомагістралі, якщо рух на них організовано погано, починають „задихатися”.

Регулювальним елементом руху є світлофор, який чисто механічно виконує свою роботу. За закладеною в ньому один раз програмою він через певні проміжки часу перемикає сигнали і абсолютно „байдужий” до постійно змінюваної транспортної ситуації як на самому перехресті, так і на сусідніх. Єдино правильні рішення можуть дати тільки „електронні регулювальники”, обладнані ЕОМ, спеціальними датчиками, встановленими на проїжджій частині, які одержують інформацію про рух транспорту з сусідніх перехресть.

Такі регулювальні системи встановлюються на всіх головних магістралях великих міст. Ряд світлофорів обладнано спеціальними пристроями, які дозволяють вибирати режим роботи залежно від кількості транспорту на тій чи іншій вулиці.

На деяких ділянках доріг з'явилися світлофори, в яких поряд з трьома загальноприйнятими світловими сигналами, загорається четвертий – голубий. Він нагадує водіям автомобілів про необхідність вимкнення двигуна в очікуванні зеленого світла.

В Москві розроблена і впроваджена автоматизована система управління дорожнім рухом „Старт”. Вона принципово відрізняється від більш простих подібних систем, що діють в інших містах. Завдяки застосуванню вдосконалених технічних засобів, математичних методів і обчислювальної техніки ця система дозволяє оптимально керувати рухом транспорту у всьому місті та повністю звільнити людину від обов'язків безпосереднього регулювальника автомобільними потоками.

Система має замкнутий контур управління дорожнім рухом: транспорт – детектори (датчики) – ЕОМ – світлофорна сигналізація і дорожні знаки – транспорт.

Інформацію про щільність потоку транспорту безперервно передають датчики, закладені в асфальт у вигляді індуктивних рамок перед основними перехрестями і на контрольних перерізах вулиць. В пам'ять ЕОМ закладені програми управління рухом з урахуванням найрізноманітніших умов – пори року, дня тижня, часу доби, стану проїжджої частини, погоди тощо. Одержавши інформацію від датчиків і проаналізувавши її, ЕОМ без участі людини знаходить в своїй пам'яті програму оптимального управління рухом для кожної конкретної транспортної ситуації.

В багатьох містах країни впроваджується принципово нова система регулювання дорожнім рухом під назвою „біжуча хвиля”. Вона не тільки видає водію необхідну інформацію, але і забезпечує плавність автомобільного потоку, що значно зменшує транспортні аварії, які виникають часто при зміні сигналу світлофора, і скорочує викиди шкідливих речовин в атмосферу.

8.7 Розрахунок викидів шкідливих речовин автомобільним транспортом

Автомобільні гази – це надзвичайно складна, недостатньо вивчена суміш токсичних компонентів, основні з яких наведені в табл. 8.4.

Для оцінювання забруднення атмосферного повітря викидами авто-транспорту встановлені питомі значення газових викидів. Так, для одноповерхових гаражів, де характерним є режим холостого ходу, величини викидів M , г, розраховуються за формулою:

$$M = gNKC, \quad (8.1)$$

де g – питома кількість шкідливих речовин, віднесена до одного виїзду з приміщення і умовної потужності двигуна в одну кінську силу, тобто в г/к.с. на 1 виїзд (приймається за табл. 8.5);

N – потужність двигуна автомобіля, к.с.;

K – число виїздів автомобілів з приміщення протягом 1 години, виїзд/год;

C – коефіцієнт для врахування інтенсивності руху автомобілів (приймається за табл. 8.6).

В багатоповерхових гаражах з виїздом автомобілів через нижчерозташовані поверхи (чи вищерозташовані яруси в підземних гаражах) кількість шкідливих речовин M , г, які виділяються на кожному поверсі (ярусі), визначається за формулою:

$$M=qNK_1(1+0,7n), \quad (8.2)$$

де K_1 – кількість виїздів протягом 1 години для даного поверху (ярусу), виїзд/год;

n – число вищерозташованих поверхів (нижчерозташованих ярусів).

При змішаному парку карбюраторних і дизельних автомобілів кількість однойменних шкідливих речовин підсумовують.

В методичних вказівках для розрахунку викидів шкідливих речовин автомобільним транспортом при його русі основою є середній питомий викид автомобілями окремих груп (вантажні, автобуси, легкові).

Таблиця 8.5 – Питомі величини шкідливих речовин, які виділяються при одному виїзді автомобіля з приміщення Γ / (к.с. виїзд) [47]

Назва приміщень	Легкові автомобілі		Вантажні автомобілі та автобуси	
	Оксид вуглецю	Оксид азоту	Оксид вуглецю	Оксид азоту
Зберігання автомобілів	1,2	0,02	1,7/0,5	0,03/0,2
Пост технічного обслуговування і поточного ремонту автомобілів	0,8	0,016	1,0/0,4	0,024/0,16
Пост миття автомобілів	0,27	0,006	0,3/0,12	0,01/0,07

Примітка. В чисельнику наведені питомі величини шкідливих речовин для автомобілів і автобусів з карбюраторними двигунами, а в знаменнику – з дизельними двигунами.

При цьому викид шкідливих речовин корегується залежно від технічного стану автомобілів, їх середнього віку, впливу природно-кліматичних умов на кількість викидів. Коефіцієнт впливу природно-кліматичних умов приймається рівним 1 (в подальшому підлягає уточненню).

Для автомобілів парку певного міста (району) маса викинутої за розрахунковий період шкідливої j -ої речовини M_j , г, при наявності в групі автомобілів з різними типами ДВЗ (бензиновими, дизельними, газовими тощо) визначається за формулою:

$$M_j^\tau = \sum_i^i \sum_k^k m_{jik} \cdot z_{ik} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (8.3)$$

де i – число груп автомобілів;

m_{jik} – питомий викид j -ої шкідливої речовини автомобілем i -ої групи двигуном k -го типу за розрахунковий період (включає в себе пробіговий викид з урахуванням картерних викидів і випаровувань палива), г/км; z_{ik} – пробіг автомобілів i -ої групи з двигуном k -го типу за розрахунковий період, млн. км; $K_1 \cdot K_2$ – добуток коефіцієнтів впливу технічного стану і середнього віку автомобілів на викид j -ої шкідливої речовини автомобілем i -ої групи з двигуном k -го типу в даному місті (табл. 8.7).

Питомі викиди m_{jik} , г/км, оксиду вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту для всіх груп автомобілів залежно від розрахункового року прийняті постійними і наведені в табл. 8.8.

Таблиця 8.6 – Коефіцієнт C для врахування інтенсивності руху автомобілів

Назва приміщень	Число виїздів протягом 1 години	Коефіцієнт C
Пост технічного обслуговування і ремонту автомобілів	1	0,5
	2	0,6
	3	0,7
	4	0,8
	> 4	1
Поточні лінії обслуговування автомобілів з переміщенням на конвеєрі	На все число виїздів	0,3
Зберігання автомобілів	Те ж	1

Для вантажних спеціальних автомашин, які працюють без значного переміщення (автокрани, бульдозери тощо), кількість речовин, які викидаються в атмосферу, повинна розраховуватися за умовним еквівалентним пробігом аналогічних автомобілів (бензинових або дизельних) і питомими витратами палива на 1 км.

Для автомагістралей з інтенсивним рухом, які є значним джерелом шкідливих викидів, головна геофізична обсерваторія ім. А. І. Войськова на основі експериментальних даних, одержаних при оцінюванні токсичності викидів автомобільних двигунів під час випробувальних їздових циклів рекомендує використовувати коефіцієнти, які дозволяють визначити кількість шкідливих речовин, M , кг, при спалюванні одиниці (1 кг) палива за формулою:

$$M=K' \cdot \sigma, \quad (8.4)$$

де σ – кількість спалюваного палива, кг;

K' – коефіцієнт, який враховує тип ДВЗ (приймається за табл. 8.9).

Таблиця 8.7 – Вплив середнього віку парку і рівня технічного стану на викид шкідливих речовин

Група автомобілів	Викид оксидів вуглецю		Викид вуглеводнів		Викид оксидів азоту	
	K_1	K_2	K_1	K_2	K_1	K_2
Вантажні та спеціальні з бензиновими ДВЗ	1,33	1,69	1,2	1,86	1	0,8
Вантажні і спеціальні дизельні	1,33	1,80	1,2	2,0	1	1,0
Автобуси з бензиновими ДВЗ	1,32	1,62	1,2	1,86	1	0,8
Автобуси дизельні	1,27	1,80	1,17	2,0	1	0,85
Легкові службові і спеціальні	1,28	1,63	1,17	1,83	1	0,85
Легкові індивідуального користування	1,28	1,62	1,17	1,78	1	0,9

Таблиця 8.8 – Питомі викиди для різних груп автомобілів, г/км

Група автомобілів	CO	CH	NO ₂
Вантажні та спеціальні вантажні з бензиновими ДВЗ, які працюють на зрідженому нафтовому газі (пропан-бутан)	55,3	12,0	6,8
Вантажні та спеціальні вантажні дизельні	15,0	6,4	7,5
Вантажні та спеціальні вантажні, які працюють на стиснутому природному газі	24,8	7,4	6,6
Автобуси з бензиновими ДВЗ	51,5	9,6	6,4
Автобуси дизельні	15,0	6,4	8,5
Легкові службові та спеціальні	16,5	1,6	2,1
Легкові індивідуального користування	16,1	1,6	2,1

Таблиця 8.9 – Значення коефіцієнтів К для визначення кількості шкідливих речовин при спалюванні 1 кг палива

Тип двигуна	Значення К для		
	СО	СН	NO ₂
Карбюраторний	0,6	0,1	0,04
Дизельний	0,1	0,03	0,04

Для того, щоб визначити кількість шкідливих речовин, які виділяються автотранспортом, вводяться такі позначення:

l – довжина заданої частини магістралі, м;

n – число машин, які пройшли через контрольний пункт на цій частині магістралі в обидві сторони за 1 хв;

V – середня швидкість автомобілів, км/год (м/с);

$\Delta\tau$ – середній інтервал часу між машинами, с;

Δl – відстань між центрами машин, м;

N – число машин, які знаходяться в даний момент на заданій частині магістралі;

q – середня кількість палива, спалюваного однією машиною (приймається за табл. 8.10).

Визначимо число автомашин, які знаходяться на ділянці автомагістралі:

$$N=l/\Delta l. \quad (8.5)$$

Інтервал на довжині Δl , м, між машинами знаходиться за формулою:

$$\Delta l=\Delta\tau \cdot V. \quad (8.6)$$

Інтервал часу між машинами $\Delta\tau$, с, визначається за формулою:

$$\Delta\tau = 60 / n. \quad (8.7)$$

Підставивши рівняння (8.6) і (8.7) у рівняння (8.5), одержимо:

$$N=ln(60 \cdot V). \quad (8.8)$$

Витрати палива q' , кг/с однією машиною за 1 с знаходимо за формулою:

$$q' = \frac{q \cdot \rho \cdot 1000}{100000} V = 0,01 q \cdot \rho \cdot V, \quad (8.9)$$

де ρ – питома густина палива, кг/л (додаток Е).

Тоді витрати палива σ , г/с, всіма машинами, які знаходяться на ділянці довжиною l будуть:

$$\sigma = \frac{l \cdot n \cdot q \cdot \rho}{6000}. \quad (8.10)$$

Таблиця 8.10 – Витрати палива автотранспортом на 100 км пробігу

Група автомобілів	Витрати q на 100 км пробігу		
	бензин, л	дизпаливо, л	газ, м ³
Вантажні та спеціальні з бензиновими ДВЗ	27	-	-
Вантажні та спеціальні дизельні	-	33	-
Вантажні та спеціальні вантажні, які працюють на стиснутому природному газі	-	7	37
Вантажні та спеціальні вантажні газобалонні	-	-	31
Легкові службові та спеціальні	12	-	-

Знаючи загальну кількість спалюваного всіма машинами палива на заданій ділянці автомагістралі, можна визначити сумарний викид шкідливих речовин за формулою (8.4).

Одержана при розрахунку кількість шкідливих речовин, які викидаються автомобільним транспортом, порівнюється з гранично допустимим викидом для даного міста (району). При необхідності зменшення викидів шкідливих речовин автотранспортом необхідно провести аналіз впливу окремих факторів і можливих заходів.

Суттєво впливає на викиди шкідливих речовин структура парку автомобілів. Тому з метою зменшення їх кількості можна передбачати зміну цієї структури (наприклад, більшу частку застосування дизельних і газобалонних автомобілів).

Зміна структури парку автомобілів за вантажопідйомністю також сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин, особливо в районах інтенсивного забруднення атмосферного повітря.

Приклад 8.1. Розрахувати очікувану загальну кількість викидів шкідливих речовин рухомих транспортом автотранспорту №... на плановий рік.

Склад автомобільного транспорту, очікуваний пробіг автомобілів кожної групи і коефіцієнти впливу технічного стану та середнього віку автомобілів наведені в табл. 8.11.

Розв'язування

1. Розраховуємо кількість викидів шкідливих речовин за формулою (8.3):

$$M_j^{\tau} = \sum_{i=1}^i \sum_{k=1}^k m_{jik} \cdot z_{ik} \cdot K_1 \cdot K_2 ;$$

2. Розрахункові дані викидів різних шкідливих речовин окремими групами автомобілів, а також загальні викиди зводимо в табл. 8.11.

Приклад 8.2. На ділянці автомагістралі з дворядним рухом в кожну сторону, яка довжиною $l=1000$ м прилягає до житлового району, рухається автотранспорт. Середня кількість спеціальних вантажних автомобілів з карбюраторними ДВЗ, які проходять в обидві сторони, $n_k = 40$ хв⁻¹ і, з дизельними ДВЗ, $n_a = 30$ хв⁻¹.

Визначити кількість шкідливих речовин, які виділяються на даній ділянці автомагістралі.

Розв'язування

1. За формулою (8.10) знаходимо кількість палива, яке спалюється автомобілями на автомагістралі довжиною $l=1000$ м:

$$\sigma_k = \frac{l \cdot n_k \cdot q_a \cdot \rho_a}{6000} = \frac{1000 \cdot 40 \cdot 27 \cdot 0,7}{6000} = 126 \text{ (кг/год)} ;$$

$$\sigma_a = \frac{l \cdot n_a \cdot q_{a\bar{a}} \cdot \rho_{a\bar{a}}}{6000} = \frac{1000 \cdot 30 \cdot 33 \cdot 0,825}{6000} = 136,125 \text{ (кг/год)},$$

де q – питомі витрати палива автомобілями, кг/100 км пробігу (табл. 8.10);

ρ – густина палива, кг/л (додаток Ж).

2. Знаходимо кількість шкідливих речовин, які виділяються автомобілями з карбюраторними двигунами, за формулою (8.4):

$$M_{CO} = K \cdot \sigma = 0,6 \cdot 126 = 75,6 \text{ (ã/ñ)};$$

$$M_{CH} = 0,1 \cdot 126 = 12,6 \text{ (ã/ñ)};$$

$$M_{NO_2} = 0,04 \cdot 126 = 5,04 \text{ (ã/ñ)};$$

Всього $M_K = 93,24 \text{ (ã/ñ)}$.

3. Знаходимо кількість шкідливих речовин, які виділяються автомобілями з дизельними двигунами:

$$M_{CH} = 0,1 \cdot 136,125 = 1,36 \text{ (ã/ñ)};$$

$$M_{CH} = 0,3 \cdot 136,125 = 4,08 \text{ (ã/ñ)};$$

$$M_{CH} = 0,4 \cdot 136,125 = 5,44 \text{ (ã/ñ)};$$

Всього $M = 10,86 \text{ (г/с)}$.

4. Загальна кількість шкідливих речовин, які виділяються всіма автомобілями на автомагістралі довжиною $l = 1000 \text{ м}$, буде

$$M = M_{\hat{E}} + M_{\hat{A}} = 93,24 + 10,88 = 104,12 \text{ (ã/ñ)} = 6,25 \text{ (êã/õâ)} = 375 \text{ (êã/ãî ä)}.$$

Таблиця 8.11 – Маса очікуваних шкідливих речовин рухомим транспортом автопідприємства (до прикладу 8.1)

Група автомобілів	1	Кількість, шт.	Пробіг, млн. км/рік	Окис вуглецю					
				Питомі викиди на 1 км пробігу, г/км	Коефіцієнти впливу		Річний викид, т/рік		
					середнього віку парку	рівня технічного стану парку			
1		2	3	4	5	6	7		
Вантажні та спеціальні з бензиновими ДВЗ	2	223	6,777	55,3	1,33	1,65	822,429		
Вантажні та спецвантажні дизельні, які працюють на стиснутому природному газі	3	69	3,549	15,0	1,33	1,8	127,445		
Вантажні та спеціальні вантажні газобалонні	4	233	7,442	24,8	1,33	1,33	441,84		
Легкові службові та спеціальні	5	44	1,176	16,5	1,28	1,51	37,504		
Всього окремих викидів:				1429,218					
1	Вуглеводні			Окисли азоту					
	Питомі викиди на 1 км пробігу, г/км	Коефіцієнт впливу		Річний викид, т/рік	Питомі викиди на 1 км пробігу, г/км	Коефіцієнт впливу		Річний викид, т/рік	
		середньо го віку парку	рівня технічного стану парку			середнього віку парку	рівня технічного стану парку		
8	9	10	11	12	13	14	15		
2	12,0	1,2	1,55	151,263	7,2	1,0	0,85	41,475	
3	7,4	1,2	1,5	47,273	7,5	1,0	0,9	23,956	
4	8,7	1,2	1,5	116,542	6,6	1,0	0,9	44,205	
5	1,6	1,17	1,55	3,412	2,1	1,0	0,9	2,223	
				318,49					111,859

Всього викидів: M = 1859,6 т/рік

Контрольні запитання

1. Наведіть класифікацію шкідливих речовин, які містяться у вихлопних газах автомобілів, та їх вплив на навколишнє природне середовище.
2. Опишіть шляхи підвищення економії палива автомобілями.
3. Охарактеризуйте види запалювання палива та їх вплив на процеси згорання.
4. Проаналізуйте заходи щодо зміни процесів подання палива в циліндри двигуна.
5. Розкрийте суть процесу дії рідинних нейтралізаторів.
6. Опишіть порядок нейтралізації відпрацьованих газів ДВЗ каталітичними нейтралізаторами.
7. Наведіть схему встановлення каталітичного нейтралізатора.
8. Розкажіть про особливості термічної нейтралізації відпрацьованих газів ДВЗ.
9. Проаналізуйте вплив на навколишнє середовище відпрацьованих газів карбюраторних і дизельних ДВЗ.
10. Охарактеризуйте альтернативні двигуни транспортних засобів.
11. Наведіть класифікацію нових (альтернативних) видів палива для двигунів транспортних засобів.
12. Поясніть особливості роботи автоматизованих систем управління міським транспортом.

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ДО 9 РОЗДІЛУ

- C_1 – максимальна концентрація забруднювальних речовин, мг/м³;
 C_0 – фонові концентрації забруднювальних речовин, мг/м³;
 Δ – коефіцієнт, який враховує температурний градієнт атмосфери;
 \dot{I} – маса шкідливих речовин, які викидаються в атмосферу в одиницю часу, г/с;
 F – коефіцієнт, який враховує швидкість осідання шкідливих речовин;
 η – коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості;
 Q – витрати газоповітряної суміші, м³/с;
 D – діаметр отвору джерела викидів, м;
 H – висота джерела викидів, м;
 V – середня швидкість виходу газоповітряної суміші, м/с;
 U – швидкість вітру, м/с;
 t_a – температура газоповітряної суміші, °С;
 t_i – температура навколишнього повітря, °С;
 \tilde{O}, \acute{O} – відстань від джерела викидів, м;
 L, b – довжина і ширина отвору джерела викидів;
 σ – витрати палива, т/год;
 d_ζ – кількість шкідливої речовини, яка викидається в атмосферу на одиницю палива, г/кг;
 d_4 – витрати газоповітряної суміші, м³/кг;
 q_a – питомі викиди газів, г/кВт · год;
 q_i – питомі викиди шкідливих речовин, г/кВт · год;
 r_0 – ступінь очищення газів;
 m, n – безрозмірні коефіцієнти, які враховують умови виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викидів.

Прийняті скорочення

- ГДК – гранично допустима концентрація;
ГДВ – гранично допустимі викиди.

9 РОЗСІЮВАННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН В АТМОСФЕРНОМУ ПОВІТРІ

Ступінь забруднення повітря біля земної поверхні викидами промислових підприємств обумовлюється не тільки кількістю забруднювальних речовин, які викидаються, але і їх розподіленням в просторі та часі, а також параметрами виходу пилогазоповітряної суміші. В атмосфері викинуті окремі частинки чи групи частинок рухаються завдяки молекулярній і турбулентній дифузії, інтенсивність яких при різних погодних умовах різна і визначається, головним чином, двома факторами: вектором швидкості вітру та вертикальним температурним градієнтом.

Вітер – турбулентний рух повітря над поверхнею Землі – є основним метеорологічним фактором, який впливає на розповсюдження забруднювальних речовин. Залежність концентрації забруднювальних речовин від напряму руху вітру має важливе значення при вирішенні питань розташування промислових підприємств в плані міста і виділенні промислової зони. При виборі майданчика для будівництва підприємств необхідно враховувати середньорічну і сезонну рози вітрів, а також швидкість вітрів окремих румбів. У промислових викидах з низьких джерел (заводських труб) найбільше забруднення спостерігається при слабких вітрах в межах 0...1 м/с. У викидах з високих джерел максимальні концентрації забруднення спостерігаються при швидкостях вітру в межах 3...6 м/с залежно від швидкості виходу газоповітряної суміші з отвору джерела.

Температурний градієнт, який характеризує зміну температури повітря по вертикалі, також впливає на рівень приземної концентрації шкідливих речовин. У звичайних умовах з підняттям вверх температура повітря зменшується; зменшення її в тропосфері складає в середньому 0,5...0,6 °С на 100 м підняття вверх, а в літні дні в найнижчих шарах воно досягає одного градуса і більше. Проте мають місце випадки, коли в окремих шарах тропосфери спостерігається збільшення температури з висотою. Такий стан атмосфери, який характеризується відхиленнями температурного градієнта, носить назву температурної *інверсії*. Розрізняють приземні та піднесені інверсії. Перші характеризуються відхиленнями температурного градієнта безпосередньо біля поверхні Землі, а піднесені – появою більш теплого шару повітря на деякій висоті від поверхні Землі. Товщина інверсійної пари також, як і висота інверсій, може змінюватися. В інверсійних умовах ослаблюється турбулентний потік, який призводить до погіршення розсіювання промислових викидів і накопичення шкідливих речовин в приземному шарі.

Для низьких джерел викидів найбільш несприятливим є поєднання приземної інверсії зі слабким вітром. Особливо шкідливе забруднення

повітря, коли при холодних викидах (фарбувальні, гальванічні та інші цехи машинобудівних підприємств) піднесена інверсія, розміщена безпосередньо над джерелом, супроводжується слабким вітром, близьким до шттилю, в таких випадках викид повинен здійснюватися вище інверсійного шару.

Для того, щоб концентрація шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери не перевищувала гранично допустимих максимальних разових концентрацій, пилогазові викиди підлягають розсіюванню в атмосфері через високі труби. При достатньо високій димовій трубі забруднення досягають приземного шару атмосфери на значній відстані від труби, коли вони вже встигають розсіятися в атмосферному повітрі до допустимих концентрацій.

Ступінь розбавлення викидів атмосферним повітрям знаходиться в прямій залежності від відстані, яку цей викид пройшов до даної точки.

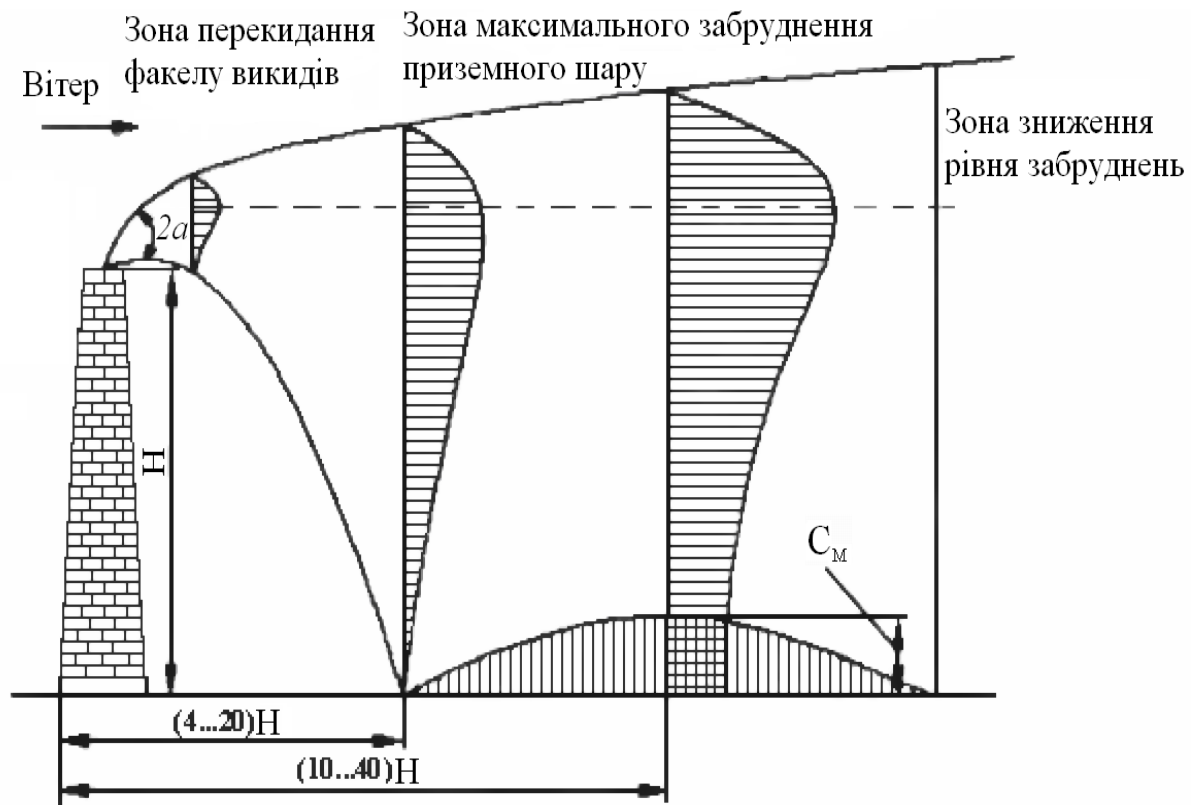


Рисунок 9.1 – Схема розподілення шкідливих речовин в атмосфері при викиді через вертикальну трубу

Шкідливі речовини, які вміщуються у викидах, розповсюджуються в напрямку вітру в границях сектора, обмеженого досить малим кутом розкриття факела ($2\alpha = 10...20^\circ$) біля виходу з труби (рис. 9.1). На відстані від 4 до 20 висот труби (H) факел торкається землі і деформується. При цьому максимальна концентрація шкідливих речовин в приземному шарі

спостерігається на відстані (10...40) Н. Таким чином, можна виділити три зони різного забруднення приземного шару атмосфери:

- зона перекидання факела викиду, яка характеризується відносно невисоким вмістом шкідливих речовин в приземному шарі;
- зона максимального забруднення приземного шару;
- зона поступового зниження рівня забруднення.

Основним документом, який регламентує розрахунок розсіювання і визначення приземних концентрацій викидів промислових підприємств, є „Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий, ОНД-86”. Основою методики є умова, при якій сумарна концентрація кожної шкідливої речовини не повинна перевищувати разову гранично допустиму концентрацію даної шкідливої речовини в атмосферному повітрі, тобто:

$$C_{\Sigma} = (C_i + \tilde{N}_0) \leq \tilde{A}\tilde{E}, \quad (9.1)$$

де C_i – максимальна концентрація забруднювальних речовин в приземному повітрі, утворювана джерелами викидів, мг/м³;

C_0 – фонові концентрації однакових чи однонаправлених шкідливих речовин, характерна для даної місцевості (приймається за довідкою органів санітарно-епідеміологічної служби), мг/м³.

При одноразовій присутності в атмосферному повітрі декількох речовин, які мають адитивні властивості для кожної точки місцевості, повинна виконуватися умова:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{i_i} + C_{0_i}}{\tilde{A}\tilde{E}_i} \leq 1, \quad (9.2)$$

де i означає i -ту домішку.

При викиді в атмосферу одного чи більше однонаправлених забруднювальних речовин з декількох джерел (однакової або різної висоти), розташованих на значній відстані одне від одного, забруднення приземного шару атмосфери розраховують для кожної труби. Одержані результати для даної точки місцевості підсумовують з урахуванням зменшення концентрацій в напрямі, перпендикулярному до напрямку вітру. Залежно від співвідношення валових викидів з джерел і відстані між ними в напрямі, перпендикулярному до напрямку вітру, максимальна сумарна концентрація забруднювальних речовин буде знаходитися або на осі джерела більшої потужності, або між джерелами, але ближче до джерела більшої потужності [41-44].

У випадку розрахунку розсіювання викидів, які виділяються в атмосферу через труби однакової висоти, розташовані на близькій відстані одна від одної, труби необхідно приймати за одне еквівалентне джерело такої ж висоти з сумарною кількістю забруднювальних речовин. При розташуванні більше двох сусідніх точкових джерел на одній лінії і збігу з нею напрямку вітру викиди будуть накладатися один на одний, що приведе до збільшення приземних концентрацій. Шахматне розташування зосереджених джерел приводить до зменшення концентрацій домішок в приземному шарі атмосфери.

У вказаному документі [31] наводяться:

- методики розрахунку забруднення атмосфери викидами одиночного джерела, лінійного джерела, групи джерел і майданчикових джерел;
- методика розрахунку забруднень атмосфери з урахуванням сумарної дії декількох речовин;
- методики врахування рельєфу місцевості та фонових концентрацій при розрахунку забруднення атмосфери;
- норми щодо визначення мінімальної висоти джерел викидів, встановлення гранично допустимих викидів та визначення меж санітарно-захисних зон підприємств.

9.1 Розрахунок забруднення атмосфери викидами одиночного джерела

1. Згідно з діючою методикою максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини C_1 , мг/м³ при викиді нагрітої газоповітряної суміші з одноствольної труби з круглим отвором досягається при несприятливих метеорологічних умовах на відстані X_1 , м, від джерела і знаходиться за формулою [45-50]:

$$\tilde{N}_1 = \frac{\dot{A} \cdot \dot{I} \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{Q \cdot \Delta T}}, \quad (9.3)$$

де \dot{A} – коефіцієнт, який залежить від температурного градієнта атмосфери, приймається для розташованих на Україні джерел висотою менше 200 м в зоні від 50° до 52° південної широти – 180, а південніше 50° південної широти – 200;

H – висота джерела викидів (для наземних джерел викидів $H=2$ м);

\dot{I} – маса шкідливої речовини, яка викидається в атмосферу за одиницю часу, г/с;

F – коефіцієнт, який враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосфері (для газів $F=1$, для пилу при ефективності очищення

викидів не менше 90% $F=2,5$ і менше 75% або при відсутності очищення $F=3$);

η – коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості; у випадку рівної чи слабкопересіченої місцевості з перепадом висот, що не перевищують 50 м на 1 км, $\eta = 1$;

ΔT – різниця між температурою газоповітряної суміші, яка викидається, t_a і температурою навколишнього атмосферного повітря t_i , °C;

Q – витрати газоповітряної суміші, м³/с, які визначаються за формулою:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V_0, \quad (9.4)$$

де D – діаметр гирла джерела викиду, м;

V_0 – середня швидкість виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду, м/с. Приймається на основі техніко-економічних розрахунків і залежить від висоти труби [33].

Висота труби H , м	120	150	180	240	330
Швидкість газів на виході V_0 , м/с	15-25	20-30	25-35	30-40	35-45

Значення коефіцієнтів m і n визначаються залежно від параметрів f , V_i , V_i' та f_e :

$$f = 1000 \frac{V_0^2 \cdot D}{H_{i \text{ зф}}^2 \cdot \Delta T}; \quad (9.5)$$

$$V_i = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q \cdot \Delta T}{H_{i \text{ зф}}}}; \quad (9.6)$$

$$V_i' = 1,3 \cdot \frac{V_0 \cdot D}{H_{i \text{ зф}}}; \quad (9.7)$$

$$f_e = 800 \cdot (V_i')^3; \quad (9.8)$$

Коефіцієнт m визначається залежно від f з рис. 9.2 або за формулами:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \text{ при } f < 100; \quad (9.9)$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \text{ при } f \geq 100; \quad (9.10)$$

Для $f_e < f < 100$ значення коефіцієнта m розраховується при $f = f_e$.

Коефіцієнт n при $f < 100$ визначається залежно від V_i з рис. 9.3 або за формулами:

$$n = 1 \text{ при } V_i \geq 2; \quad (9.11)$$

$$n = 0,532 V_i^2 - 2,13 V_i + 3,13 \text{ при } 0,5 \leq V_i < 2; \quad (9.12)$$

$$n = 4,4 V_i \text{ при } V_i < 0,5. \quad (9.13)$$

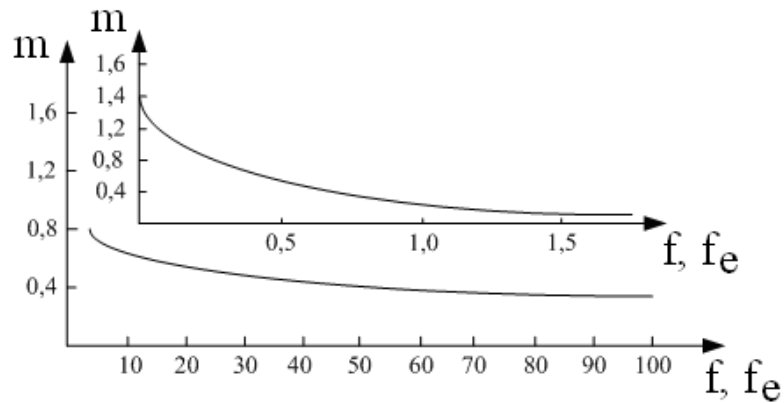


Рисунок 9.2 – Залежність коефіцієнта m від параметра f

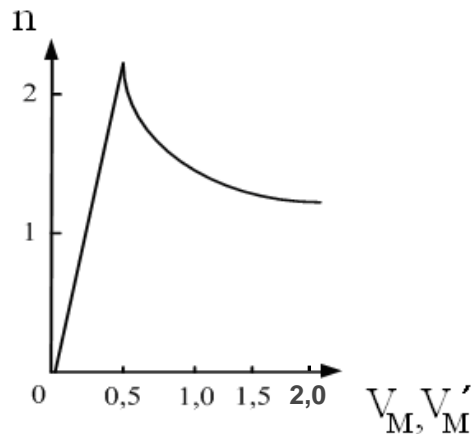


Рисунок 9.3 – Залежність коефіцієнта n від параметра V_i

2. Максимальне значення приземної концентрації холодної газоповітряної суміші від одиночного джерела з круглим отвором при $f \geq 100$ (або $\Delta T \approx 0$) і $V_i' \geq 0,5$ при розрахунку C_i замість формули (9.3) використовується формула:

$$C_i = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta}{H^{4/3}} \cdot K, \quad (9.14)$$

$$\text{де } K = \frac{D}{8Q} = \frac{1}{7,1 \sqrt{V_0 \cdot Q}}, \quad (9.15)$$

причому n визначається за формулами (9.11)...(9.13) при $V_i = V_i'$. Аналогічно при $f < 100$ і $V_i < 0,5$ або $f \geq 100$ і $V_i' < 0,5$ (випадки гранично малих шкідливих швидкостей вітру) розрахунок C_i замість (9.3) проводиться за формулою:

$$C_i = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m' \cdot \eta}{H^{7/3}}, \quad (9.16)$$

$$\text{де } m' = 2,86 \cdot m \text{ при } f < 100 \text{ і } V_i < 0,5; \quad (9.17)$$

$$m' = 0,9 \text{ при } f \geq 100, V_i' < 0,5.$$

3. Відстань X_i , м, від джерела викидів, на якій приземна концентрація C , мг/м³, при несприятливих метеорологічних умовах досягає максимального значення, визначається за формулою:

$$X_i = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (9.18)$$

де d – безрозмірний коефіцієнт, який визначається за формулами:
при $f < 100$:

$$d = \frac{2,48}{1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}} \quad \text{при } V_i \geq 0,5;$$

$$d = \frac{4,95 \cdot V_i}{1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}} \quad \text{при } 0,5 < V_i \leq 2; \quad (9.19)$$

$$d = \frac{7\sqrt{V_i}}{1 + 0,28\sqrt[3]{f_e}} \quad \text{при } V_i > 2;$$

при $f > 100$ або $\Delta T \approx 0$:

$$d = 5,7 \quad \text{при } V_i' \leq 0,5;$$

$$d = 11,4 \quad \text{при } 0,5 < V_i' \leq 2; \quad (9.20)$$

$$d = 16\sqrt{V_i'} \quad \text{при } V_i' > 2.$$

4. Значення шкідливої швидкості вітру U_i , м/с, на рівні флюгера (звичайно 10 м від рівня землі), при якій досягається найбільше значення приземної концентрації шкідливих речовин C знаходиться за формулами:

при $f < 100$

$$U_i = 0,5 \quad \text{при } V_i \leq 0,5;$$

$$U_i = V_i \quad \text{при } 0,5 < V_i \leq 2; \quad (9.21)$$

$$U_i = \frac{V_i}{1 + 0,12\sqrt{f}} \quad \text{при } V_i > 2;$$

при $f \geq 100$, або $\Delta T \approx 0$:

$$U_i = 0,5 \quad \text{при } V_i \leq 0,5; \quad (9.22)$$

$$U_i = V_i' \quad \text{при } 0,5 < V_i \leq 2; \quad (9.23)$$

$$U_i = 2,2V_i' \quad \text{при } V_i' > 2. \quad (9.24)$$

7. Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини C_{1u} , мг/м³, при несприятливих метеорологічних умовах і швидкості вітру U , м/с, яка відрізняється від шкідливої швидкості вітру U_i , м/с, визначається за формулою:

$$C_{1u} = r \cdot C_1, \quad (9.25)$$

де r – безрозмірна величина, яка визначається залежно від відношення U/U_i з рис. 9.4 або за формулами:

$$r = 0,67 \frac{U}{U_i} + 1,67 \left(\frac{U}{U_i} \right)^2 - 1,34 \left(\frac{U}{U_i} \right)^3 \quad \text{при } U/U_i \leq 1, \quad (9.26)$$

$$r = \frac{3 \cdot (U/U_i)}{2 \cdot (U/U_i)^2 - (U/U_i) + 2} \quad \text{при } U/U_i > 1. \quad (9.27)$$

Примітка. При проведенні розрахунків не використовується значення швидкості вітру $U < 0,5$ м/с, а також швидкості вітру $U < U_0$, де U_0 значення швидкості вітру, що перевищує в даній місцевості в середньому багаторічному режимі в 5% випадків.

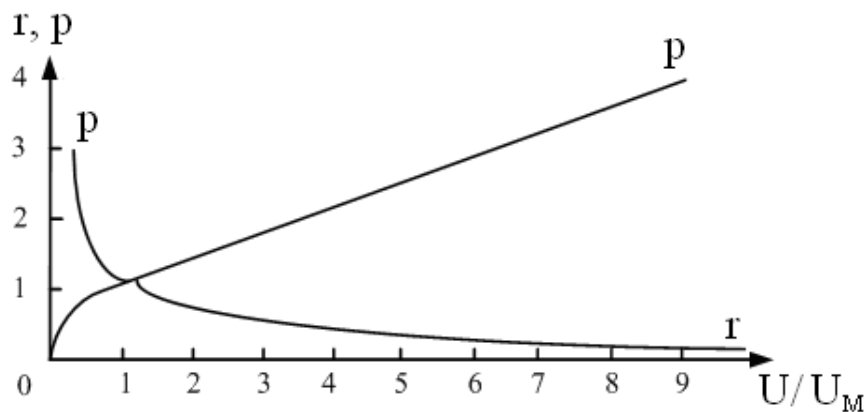


Рисунок 9.4 – Залежність коефіцієнтів r і p від відношення U/U_i

6. Відстань від джерела викиду, м, на якій при швидкості вітру U і несприятливих метеорологічних умовах приземна концентрація шкідливих речовин досягає максимального значення C_{iu} , мг/м^3 , визначається за формулою:

$$X_{iu} = p \cdot X_i, \quad (9.28)$$

де p – безрозмірний коефіцієнт, який визначається залежно від відношення U/U_i з рис 9.4 або за формулами:

$$p = 3 \quad \text{при } U/U_i \leq 0,25;$$

$$p = \frac{8,43}{1 - (U/U_i)^5 + 1} \quad \text{при } 0,25 < U/U_i \leq 1;$$

$$p = 0,32 \frac{U}{U_1} + 0,68 \quad \text{при } U/U_1 > 1. \quad (9.29)$$

7. При небезпечній швидкості вітру U_1 приземна концентрація шкідливих речовин C , мг/м³, в атмосфері за віссю факела викидів на різних відстанях X , м, від джерела викидів визначається за формулою:

$$C = S_1 \cdot C_1, \quad (9.30)$$

де S_1 – безрозмірний коефіцієнт, який знаходиться залежно від відношення X/X_1 і коефіцієнта F з рис. 9.5 або за формулами:

$$S_1 = 3 \left(\frac{X}{X_1} \right)^4 - 8 \left(\frac{X}{X_1} \right)^3 + 6 \left(\frac{X}{X_1} \right)^2 \quad \text{при } X/X_1 \leq 1;$$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13(X/X_1)^2 + 1} \quad \text{при } 1 < X/X_1 \leq 8; \quad (9.31)$$

$$S_1 = \frac{X/X_1}{3,58(X/X_1)^2 - 35,2(X/X_1) + 120} \quad \text{при } F < 1,5 \text{ і } X/X_1 > 8;$$

$$S_1 = \frac{1}{0,1(X/X_1)^2 + 2,47(X/X_1) - 17,8} \quad \text{при } F > 1,5 \text{ і } X/X_1 > 8.$$

Для низьких і наземних джерел (висотою H не більше 10 м) при значеннях $X/X_1 < 1$ величина S_1 в (9.30) замінюється на величину S_1^i , яка визначається залежно від X/X_1 і H з рис. 9.6 або за формулою:

$$S_1^i = \frac{0,125}{10 - H} + \frac{0,125}{H - 2} S_1 \quad \text{при } 2 \leq H < 10. \quad (9.32)$$

8. Значення приземної концентрації шкідливих речовин в атмосфері C_Y , мг/м³, на відстані Y , м, перпендикулярно до осі факела викидів знаходиться за формулою

$$C_Y = S_2 \cdot C, \quad (9.33)$$

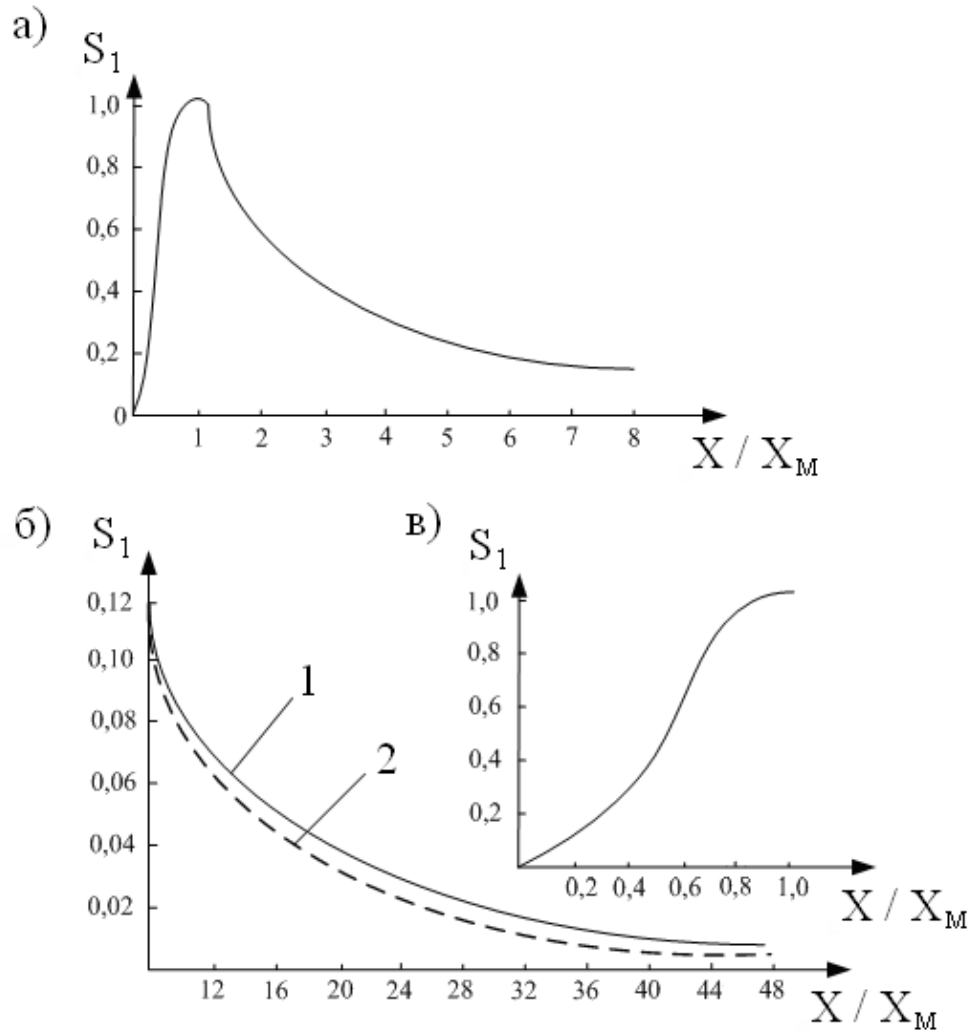


Рисунок 9.5 – Залежність коефіцієнта S_1 від відношення X/X_1 :
1 – легкі домішки, 2 – важкі домішки

де S_2 – безрозмірний коефіцієнт, який визначається залежно від швидкості вітру U , м/с, і відношення Y/X за значенням аргументу

t_Y :

$$t_Y = \frac{u \cdot Y^2}{X^2} \quad \text{при } U \leq 5; \quad (9.34)$$

$$t_Y = \frac{5Y^2}{X^2} \quad \text{при } U > 5;$$

з рисунку 9.7 або за формулою:

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5t_Y + 12,8t_Y^2 + 17t_Y^3 + 45,1t_Y^4)^2} \quad (9.35)$$

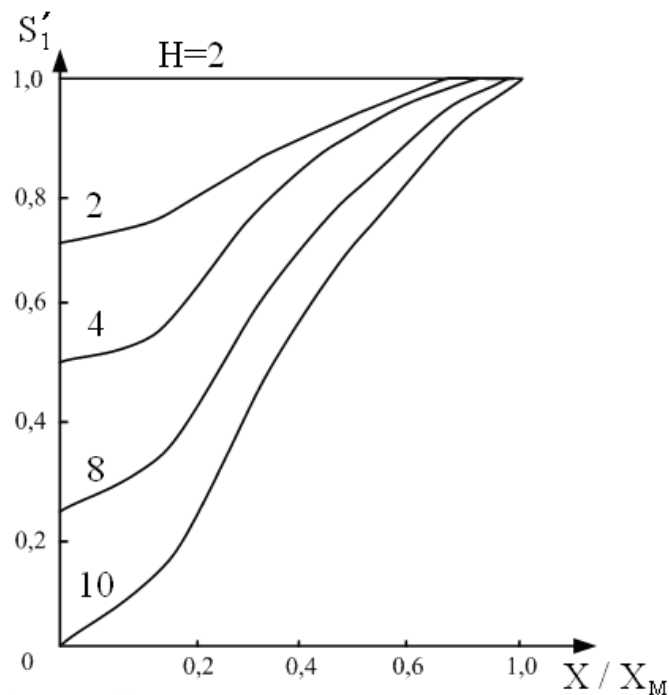


Рисунок 9.6 – Залежність коефіцієнта S'_1 від відношення X/X_i

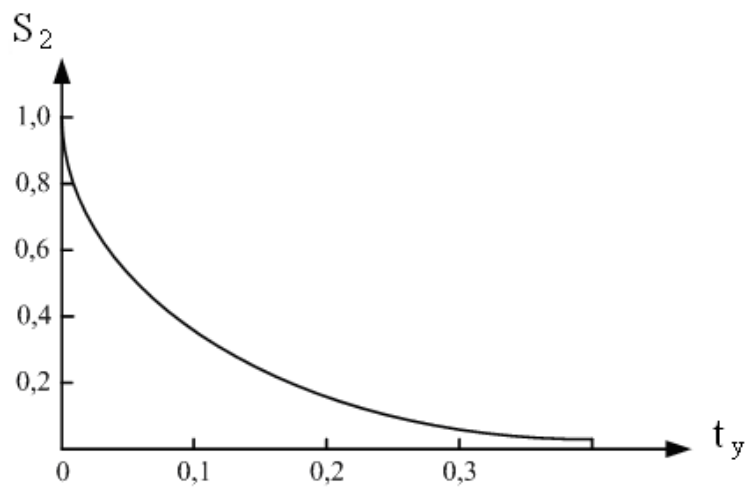


Рисунок 9.7 – Залежність коефіцієнта S_2 від аргументу t_Y

9. Максимальна концентрація $C_{i \text{ } \grave{a}x}$, мг/м^3 , на відстані X від джерела викидів на осі факела при швидкості вітру $U_{i \text{ } \grave{a}x}$ визначається за формулою:

$$C_{i \text{ } \grave{a}x} = S'_1 \cdot C_i, \quad (9.36)$$

де S'_1 – безрозмірний коефіцієнт знаходиться залежно від відношення X/X_i з рис. 9.8 або за формулами:

$$S'_1 = 3\left(\frac{X}{X_1}\right)^4 - 8\left(\frac{X}{X_1}\right)^3 + 6\left(\frac{X}{X_1}\right)^2 \quad \text{при } X/X_1 \leq 1;$$

$$S'_1 = \frac{1,1}{0,1(X/X_1)^2 + 1} \quad \text{при } 1 < X/X_1 \leq 8;$$

$$S'_1 = \frac{2,55}{0,13(X/X_1)^2 + 9} \quad \text{при } 8 < X/X_1 \leq 24; \quad (9.37)$$

$$S'_1 = \frac{2,55}{4,75(X/X_1)^2 - 140(X/X_1) + 1435} \quad \text{при } 24 < X/X_1 \leq 80, F \leq 1,5;$$

$$S'_1 = \frac{2,26}{0,1(X/X_1)^2 + 7,41(X/X_1) - 160} \quad \text{при } 24 < X/X_1 \leq 80, F > 1,5;$$

$$S'_1 = \frac{X/X_1}{3,58(X/X_1)^2 - 35,2(X/X_1) + 120} \quad \text{при } X/X_1 > 80, F \leq 1,5;$$

$$S'_1 = \frac{1}{0,1(X/X_1)^2 + 2,47(X/X_1) - 178} \quad \text{при } X/X_1 > 80, F > 1,5.$$

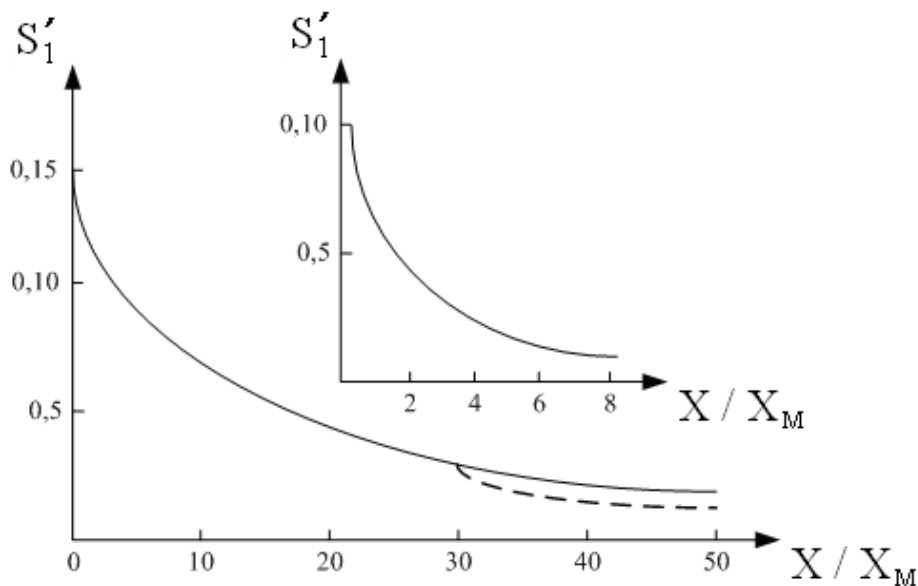


Рисунок 9.8 – Залежність коефіцієнта S'_1 від відношення X/X_1

Швидкість вітру $U_{i \text{ àx}}$ при цьому розраховується за формулою:

$$U_{i \text{ àx}} = f_1 \cdot U_i, \quad (9.38)$$

де f_1 – безрозмірний коефіцієнт, який визначається залежно від відношення X/X_i з рис. 9.9 або за формулами:

$$f_1 = 1 \quad \text{при} \quad X/X_i \leq 1;$$

$$f_1 = \frac{0,75 + 0,25(X/X_i)}{1 + (X/9X_i)^9} \quad \text{при} \quad 1 < X/X_i \leq 8; \quad (9.39)$$

$$f_1 = 0,25 \quad \text{при} \quad 8 < X/X_i \leq 80;$$

$$f_1 = 0,1 \quad \text{при} \quad X/X_i \geq 80.$$

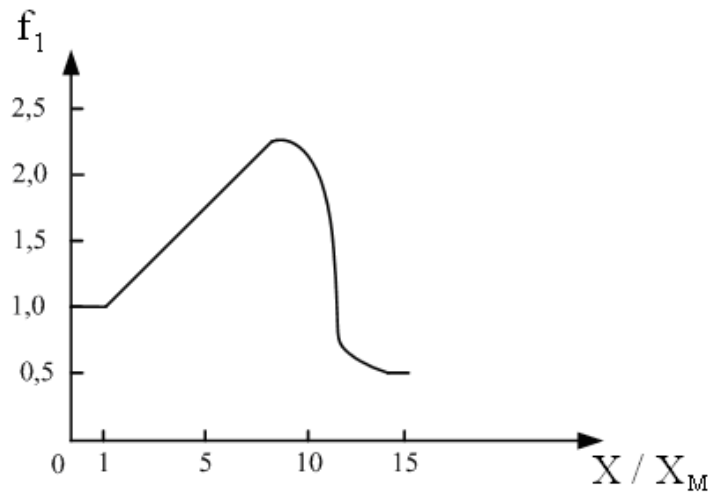


Рисунок 9.9 – Залежність коефіцієнта f_1 від відношення X/X_i

10. Розрахунки забруднень атмосфери при викидах газоповітряної суміші з джерела з прямокутним отвором проводяться за наведеними вище формулами при середній швидкості V_0 і значеннях $D = D_e$, м, і $Q_1 = Q_{1e}$, м³/с.

Середня швидкість виходу в атмосферу газоповітряної суміші V_0 , м/с, знаходиться за формулою:

$$V_0 = \frac{Q_1}{L \cdot b}, \quad (9.40)$$

де L – довжина шахти, м;

b – ширина шахти, м;

Ефективний діаметр отвору D_e , м, визначається за формулою:

$$D_e = \frac{2L-b}{L+b}. \quad (9.41)$$

Ефективні витрати газоповітряної суміші, m^3/c , яка викидається в атмосферу за одиницю часу, знаходяться за формулою:

$$Q_{1e} = \frac{\pi \cdot D_e^2}{4} \cdot V_0. \quad (9.42)$$

Примітка. Для джерел з квадратним отвором ($L = b$) ефективний діаметр D_e дорівнює довжині сторони квадрата. В останньому розрахунок розсіювання шкідливих речовин проводиться як для викидів з джерела з круглим отвором.

11. Розв'язування обернених задач для визначення потужності викидів M і висоти H , які відповідають заданому рівню максимальної приземної концентрації при інших фіксованих параметрах викидів, проводиться так.

Потужність викиду M , $г/с$, відповідна заданому значенню максимальної концентрації \tilde{N}_1 , $мг/м^3$, визначається за формулою:

$$M = \frac{C_1 \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \sqrt[3]{Q_1 \cdot \Delta T}; \quad (9.43)$$

у випадку $f \geq 100$ або $\Delta T \approx 0$

$$M = \frac{C_1 \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \frac{8Q_1}{D}. \quad (9.44)$$

Висота джерела H , відповідна заданому значенню \tilde{N}_1 , у випадку $\Delta T \approx 0$ знаходиться за формулою:

$$H = \left(\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D \cdot \eta}{8 \cdot Q_1 \cdot C_1} \right)^{3/4}. \quad (9.45)$$

Якщо знайденому за формулою (9.45) значенню H відповідає $V_1' < 2$ м/с, то H уточнюється методом послідовних наближень за формулою:

$$H_{i+1} = H_i \cdot \left(\frac{n_i}{n_{i-1}} \right)^{3/4}, \quad (9.46)$$

де n_i òà n_{i-1} – значення знайденого з рис. 9.3 або за формулами (9.11) - (9.13) коефіцієнта n , одержані відповідно за значеннями H_i òà H_{i-1} (при $i=1$ у формулі (9.46) приймається $n_0 = 1$, а значення H_i визначається за формулою (9.45).

Формули (9.45) і (9.46) застосовуються також для визначення H при $\Delta T > 0$. Якщо при цьому виконується умова $H \leq V_0 \sqrt{10D / \Delta T}$, то знайдене H є точним. Якщо ж $H > V_0 \sqrt{10D / \Delta T}$ то для визначення попереднього значення висоти H використовується формула:

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot \eta}{C_1 \cdot \sqrt[3]{Q_1 \cdot \Delta T}}}. \quad (9.47)$$

За знайденим значенням H визначаються на основі формул (9.5) ... (9.8) величини f , V_1' , V_1 та f_e та встановлюються в першому наближенні коефіцієнти m і n . Подальші уточнення значення H виконуються за формулою:

$$H_{i+1} = H_i \cdot \sqrt{\frac{m_i \cdot n_i}{m_{i-1} \cdot n_{i-1}}}, \quad (9.48)$$

де n_i òà n_{i-1} – відповідають H_i , а m_{i-1} , n_{i-1} – H_{i-1} (при $i=1$ приймається $m_0 = n_0 = 1$, а H_0 визначається за формулою (9.47).

Уточнення значень H за формулами (9.46) і (9.48) проводиться до того часу, поки два послідовно знайдених значення H (H_i та H_{i+1}) будуть відрізнятися менше як на 1 м.

12. У випадку викидів в атмосферу, зумовлених спалюванням палива, при фіксованих висоті та діаметрі отвору труби відповідні C_1 витрати палива σ , т/год, визначаються за формулою:

$$\sigma = 3,6H^3 \sqrt{\left(\frac{C_1}{d_3 \cdot A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}\right)^3 d_4 \cdot \Delta T}, \quad (9.49)$$

де d_3 – кількість шкідливої речовини на одиницю палива (в необхідних випадках з урахуванням пилогазоочищення), г/кг, яка викидається в атмосферу;

d_4 – витрати газоповітряної суміші, г/кг, яка виділяється на одиницю маси палива, м³/кг.

13. Для кожного джерела радіус зони впливу розраховується як найбільша з двох відстань до джерела X_1 і X_2 , де $X_1 = 10 X_1$, а величина X_2 визначається як відстань від джерела, починаючи з якої $\tilde{N} \leq 0,05$.

Примітка. Значення X_2 знаходиться графічно з рис. 9.5а, б. На вертикальній осі відкладається точка $0,05/C_1$, через яку проводиться паралельна горизонтальній осі лінія до перетину з графіком функції S_1 за максимумом. З точки перетину опускається перпендикуляр на горизонтальну вісь, одержане значення множиться на X_1 , внаслідок чого визначається шукане значення. При $C_1 \leq 0,05$ значення X_2 приймається рівним нулю.

14. При повному навантаженні обладнання середня концентрація \tilde{C}_1 , г/м³, в отворі джерела рівна:

$$\tilde{C}_1 = \frac{\dot{I}}{Q} \quad (9.50)$$

і знаходиться за формулами:

$$\tilde{C}_1 = \frac{C_1 \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta T}{Q^2}} \quad \text{при } f < 100, \quad (9.51)$$

$$\tilde{C}_1 = \frac{8 \cdot C_1 \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \quad \text{при } f \geq 100 \quad \text{або } \Delta T \approx 0,$$

де C_1 – відповідна \tilde{C}_1 максимальна приземна концентрація, мг/м³.

9.2 Приклади розрахунку розсіювання шкідливих речовин

Приклад 9.1. Розрахувати концентрації шкідливих речовин, які викидаються котельнею, в атмосферному повітрі при несприятливих метеорологічних умовах. Котельня розташована на рівній відкритій місцевості у Вінницькій області. Число димових труб $N=1$; висота димової труби $H=40$ м; діаметр отвору труби $D=1,5$ м; швидкість виходу газоповітряної суміші $V_0=6$ м/с; температура газоповітряної суміші $t_r=120^\circ\text{C}$; температура навколишнього повітря $t_n=20^\circ\text{C}$; викид двоокису сірки $M_{\text{SO}_2}=22$ г/с; викид золи $M_z=3,6$ г/с; викид окислів азоту (в перерахунку на двоокис азоту) $M_{\text{NO}_2}=5$ г/с.

Розв'язування

1. Максимальне значення приземної концентрації C_1 , мг/м³, визначається за формулою:

$$C_1 = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{Q \cdot \Delta T}}$$

2. Згідно з п. 9.1.1:

- коефіцієнт $A=200$ (Вінницька область знаходиться південніше 50° північної широти);

- коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості, $\eta=1$ (місцевість рівна);

- коефіцієнт, який враховує швидкість осідання речовин, $F=1$ (для двоокису сірки і окислів азоту) і $F=3$ (для золи при відсутності золоочищення).

3. З додатку Б знаходимо максимальні разові гранично допустимі концентрації (ГДК):

- двоокису сірки – 0,5 мг/м³;

- золи – 0,5 мг/м³;

- окислів азоту – 0,085 мг/м³;

4. Знаходимо об'єм газоповітряної суміші за формулою (9.4):

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V_0 = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot 6 = 10,6 \text{ (м}^3/\text{с)}.$$

5. Перегрів ΔT , $^\circ\text{C}$, газоповітряної суміші:

$$\Delta T = t_a - t_i = 120 - 20 = 100.$$

6. За формулами (9.5)...(9.8) знаходимо параметри:

$$f = 1000 \cdot \frac{V_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = 1000 \cdot \frac{6^2 \cdot 1,5}{40^2 \cdot 100} = 0,34;$$

$$V_i = 0,65 \sqrt[3]{\frac{Q \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \sqrt[3]{\frac{10,6 \cdot 100}{40}} = 1,94;$$

$$V_i' = 1,3 \frac{V_0 \cdot D}{H} = 1,3 \frac{6 \cdot 1,5}{40} = 0,29;$$

$$f = 800 \cdot (V_i')^3 = 800 \cdot (0,29)^3 = 20.$$

7. За формулами (9.9) і (9.12) або з рис. 9.2 і 9.3 знаходимо відповідно параметри m і n ($f < 100$; $0,5 \leq V_i < 2$)

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,34} + 0,34\sqrt[3]{0,34}} = 0,51$$

$$n = 0,532 \cdot V_i^2 - 2,13 \cdot V_i + 3,13 = 0,532 \cdot 1,94^2 - 2,13 \cdot 1,94 + 3,13 = 1,0$$

8. Знаходимо небезпечну швидкість вітру U_i , м/с, за формулою (9.21), тобто:

$$U_i = V_i = 1,94$$

9. Параметр d визначаємо за формулою (9.19):

$$d = \frac{4,95 V_i}{1 + 0,28 \sqrt[3]{f}} = \frac{4,95 \cdot 1,94}{1 + 0,28 \sqrt[3]{0,34}} = 11,5.$$

9.2.1 Розрахунок концентрації двоокису сірки

10. Максимальна концентрація $C_i^{SO_2}$, мг/м³ (за формулою п.1):

$$C_1^{\text{SO}_2} = \frac{200 \cdot 22 \cdot 1 \cdot 0,51 \cdot 1 \cdot 1}{40^2 \cdot \sqrt[3]{10,6 \cdot 100}} = 0,14.$$

11. Відстань $X_1^{\text{SO}_2}$, м, на якій концентрація двоокису сірки досягає максимального значення, знаходимо за формулою (9.18):

$$X_1^{\text{SO}_2} = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H = \frac{5-1}{4} \cdot 11,5 \cdot 40 = 460.$$

12. Коефіцієнт S_1 для відстані X знаходимо за формулами (9.31) або з рис. 9.5:

$$X = 50 \text{ (м)}, \quad X/X_1 = 0,11;$$

$$S_1 = 3 \left(\frac{X}{X_1} \right)^4 - 8 \left(\frac{X}{X_1} \right)^3 + 6 \left(\frac{X}{X_1} \right)^2 = 3 \cdot (0,11)^4 - 8 \cdot (0,11)^3 + 6 \cdot (0,11)^2 = 0,063;$$

$$X=100 \text{ (м)}, \quad X/X_1 = 0,217;$$

$$S_1 = 3 \cdot (0,217)^4 - 8 \cdot (0,217)^3 + 6 \cdot (0,217)^2 = 0,21;$$

$$X=200 \text{ (м)}, \quad X/X_1 = 0,435;$$

$$S_1 = 3 \cdot (0,435)^4 - 8 \cdot (0,435)^3 + 6 \cdot (0,435)^2 = 0,585;$$

$$X=400 \text{ (м)}, \quad X/X_1 = 0,87;$$

$$S_1 = 3 \cdot (0,87)^4 - 8 \cdot (0,87)^3 + 6 \cdot (0,87)^2 = 0,991;$$

$$X=1000 \text{ (м)}, \quad X/X_1 = 2,17;$$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot (X/X_1)^2 + 1} = \frac{1,13}{0,13 \cdot 2,17^2 + 1} = 0,7;$$

$$X=3000 \text{ (м)}, \quad X/X_1 = 6,52;$$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot (X/X_1)^2 + 1} = \frac{1,13}{0,13 \cdot (6,52)^2 + 1} = 0,173;$$

13. Концентрація C^{SO_2} , мг/м³, на відстанях X буде рівна (формула (9.30):

$$X = 50 \text{ м}, \quad C^{SO_2} = S_1 \cdot C_1^{SO_2} = 0,063 \cdot 0,14 = 0,009;$$

$$X = 100 \text{ м}, \quad C^{SO_2} = 0,21 \cdot 0,14 = 0,03;$$

$$X = 200 \text{ м}, \quad C^{SO_2} = 0,585 \cdot 0,14 = 0,082;$$

$$X = 400 \text{ м}, \quad C^{SO_2} = 0,991 \cdot 0,14 = 0,139;$$

$$X = 1000 \text{ м}, \quad C^{SO_2} = 0,7 \cdot 0,14 = 0,098;$$

$$X = 3000 \text{ м}, \quad C^{SO_2} = 0,173 \cdot 0,14 = 0,024.$$

9.2.2 Розрахунок концентрації окислів азоту

14. Розрахунок C^{NO_2} виконується аналогічно розрахунку C^{SO_2} . Концентрації C^{NO_2} та C^{SO_2} зв'язані співвідношенням:

$$C^{NO_2} = C^{SO_2} \cdot \frac{M_{NO_2}}{M_{SO_2}} = C^{SO_2} \cdot \frac{5}{22} = 0,227 \cdot C^{SO_2}$$

Тоді максимальна концентрація окислів азоту також буде на відстані 460 м від труби і буде рівна $C_1^{NO_2} = 0,227 \cdot C_1^{SO_2} = 0,227 \cdot 0,14 = 0,032 \text{ м}^3/\text{м}^3$, що не перевищує $C_{\text{дод}}^{NO_2} = 0,085 \text{ мг/м}^3$.

9.2.3 Розрахунок концентрації золи

15. Максимальна концентрація золи C_1^z , мг/м³, знаходиться за формулою (9.3) або із співвідношення:

$$\tilde{N}_1^z = \tilde{N}_1^{SO_2} \cdot \frac{M_z}{M_{SO_2}} \cdot F = 0,14 \cdot \frac{3,6}{22} \cdot 3 = 0,069,$$

що значно менше максимальної разової гранично допустимої концентрації ($C_{\text{AAE}}^c = 0,5 \text{ мг/м}^3$).

16. Відстань X_1^c , м, на якій концентрація золи буде максимальною, знаходимо за формулою (9.18) або із співвідношення:

$$X_1^c = X_1^{\text{SO}_2} \cdot \frac{5-F}{4} = 460 \cdot \frac{5-3}{4} = 230$$

17. Коефіцієнт S_1 для відстані X знаходимо за формулами (9.31) або з рис. 9.5:

$$X = 50 \text{ м} , \quad X/X_1 = 0,217;$$

$$S_1 = 3 \left(\frac{X}{X_1} \right)^4 - 8 \left(\frac{X}{X_1} \right)^3 + 6 \left(\frac{X}{X_1} \right)^2 = 3 \cdot (0,217)^4 - 8 \cdot (0,217)^3 + 6 \cdot (0,217)^2 = 0,21$$

$$X = 100 \text{ м} , \quad X/X_1 = 0,435;$$

$$S_1 = 3 \cdot (0,435)^4 - 8 \cdot (0,435)^3 + 6 \cdot (0,435)^2 = 0,585;$$

$$X = 200 \text{ м} , \quad X/X_1 = 0,87;$$

$$S_1 = 3 \cdot (0,87)^4 - 8 \cdot (0,87)^3 + 6 \cdot (0,87)^2 = 0,991;$$

$$X = 400 \text{ м} , \quad X/X_1 = 1,74;$$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot (X/X_1)^2 + 1} = \frac{1,13}{0,13 \cdot (1,74)^2 + 1} = 0,81;$$

$$X = 1000 \text{ м} , \quad X/X_1 = 4,35;$$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot (4,35)^2 + 1} = 0,33;$$

$$X = 3000 \text{ м} , \quad X/X_1 = 13;$$

$$S_1' = \frac{1}{0,1(X/X_1)^2 - 2,47(X/X_1) + 178} = \frac{1}{0,1 \cdot 13^2 + 2,47 \cdot 13 - 17,8} = 0,032.$$

18. Концентрацію золи C_1^c , мг/м³, на відстані X знаходимо за формулою (9.30):

$$X = 50 \text{ м} , \quad C^c = S_1 \cdot C_1^c = 0,063 \cdot 0,14 = 0,009 ;$$

$$X = 100 \text{ м} , \quad C^c = 0,585 \cdot 0,069 = 0,0404 ;$$

$$X = 200 \text{ м} , \quad C^c = 0,991 \cdot 0,069 = 0,0684 ;$$

$$X = 400 \text{ м} , \quad C^c = 0,81 \cdot 0,069 = 0,0559 ;$$

$$X = 1000 \text{ м} , \quad C^c = 0,33 \cdot 0,069 = 0,0228 ;$$

$$X = 3000 \text{ м} , \quad C^c = 0,032 \cdot 0,069 = 0,0022 .$$

Приклад 9.2. Розрахувати висоту димової труби ТЕС потужністю $P = 500000$ кВт, яка працює на мазуті, для двох варіантів:

а) гази викидаються в атмосферу без попереднього очищення, температура газів $t_a = 160$ °С;

б) гази попередньо очищаються в абсорбері від оксиду сірки на 90%, температура підігрітих після очищення газів $t_a = 110$ °С.

Фонові концентрація оксиду сірки $C_{\text{O}}^{\text{SO}_2} = 0,05$ мг/м³.

Температура навколишнього повітря $t_i = 23$ °С.

ТЕС розташована на рівній місцевості південніше 50° північної широти на Україні.

Розв'язування

1. Визначаємо величини викидів шкідливих речовин M , користуючись додатком К:

$$\text{зола: } M_{\text{ç}} = \frac{P}{3600} \cdot q_{\text{ç}} = \frac{500000}{3600} \cdot 0,4 = 55,56 \text{ (г/с);}$$

$$\text{двоокис сірки: } M_{\text{SO}_2} = \frac{P}{3600} \cdot q_{\text{SO}_2} = \frac{500000}{3600} \cdot 15,9 = 2208,5 \text{ (г/с);}$$

$$M'_{\text{SO}_2} = \frac{M_{\text{SO}_2}}{100} \cdot (100 - 90) = 22,1 \text{ (г/с);}$$

$$\text{окисли азоту: } M_{\text{NO}_2} = \frac{P}{3600} \cdot q_{\text{NO}_2} = \frac{500000}{3600} \cdot 3,2 = 444,5 \text{ (г/с)},$$

де $q_{\text{с}}$, q_{SO_2} , q_{NO_2} – питомі викиди відповідно золи, двоокису сірки та окислів азоту, г/(кВт·год).

2. Розраховуємо об'єм газів Q , м³/с, які викидаються при нормальних умовах:

$$Q = \frac{P}{3600} \cdot q_{\text{а}} = \frac{500000}{3600} \cdot 4 = 555,6 \text{ м}^3/\text{с},$$

де $q_{\text{а}}$ – питомі викиди газів, г/(кВт·год.).

3. Знаходимо об'єм газів Q , м³/с, при робочих умовах:

$$\text{а) } Q_1 = Q \cdot \frac{T_0 + t_{\text{а}}}{T_0} = 555,6 \cdot \frac{273 + 160}{273} = 881 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\text{б) } Q'_1 = 555,6 \cdot \frac{273 + 110}{273} = 779 \text{ м}^3/\text{с}.$$

4. Користуючись формулою (9.4) визначаємо діаметр отвору труби:

$$\text{а) } D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_1}{\pi \cdot V_0}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 881}{3,14 \cdot 35}} = 5,56 \text{ м};$$

$$\text{б) } D'_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 779}{3,14 \cdot 35}} = 5,32 \text{ м},$$

де V_0 – швидкість газів на виході з труби приймаємо рівною 35 м/с (п.1).

5. Враховуючи величини шкідливих речовин, а також сумісну дію двоокису сірки та окислів азоту, розраховуємо висоту труби для розсіювання останніх. Попередньо приводимо викиди M до викидів за окислами сірки:

$$\text{а) } M = M_{\text{SO}_2} + 5,88M_{\text{NO}_2} = 2208,5 + 5,88 \cdot 444,5 = 4822,5 \text{ г/с};$$

$$\text{б) } M' = 22,1 + 5,88 \cdot 444,5 = 2635,8 \text{ г/с}.$$

6. Згідно з п.9.1 коефіцієнт $A = 200$, коефіцієнт $F = 1$, коефіцієнт $\eta = 1$. Максимальна разова гранично допустима концентрація для двоокису сірки $C_{\text{ААЕ}}^{\text{SO}_2} = 0,5 \text{ мг/м}^3$ (додаток Б).

7. Знаходимо висоту димової труби H згідно з формулою (9.45):

$$\text{а) } H = \left[\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D_0 \cdot \eta}{8Q_1 \cdot (C_{\text{ААЕ}}^{\text{SO}_2} - C_0^{\text{SO}_2})} \right]^{3/4} = \left[\frac{200 \cdot 4822,2 \cdot 1 \cdot 5,66 \cdot 1}{8 \cdot 881 \cdot (0,5 - 0,05)} \right]^{3/4} = 267,2 \text{ м};$$

$$\text{б) } H' = \left[\frac{200 \cdot 2635,8 \cdot 1 \cdot 5,32 \cdot 1}{8 \cdot 779 \cdot (0,5 - 0,05)} \right]^{3/4} = 177,8 \text{ м}.$$

8. Знаходимо різницю температур ΔT між температурою газів, які викидаються, і температурою навколишнього атмосферного повітря:

$$\text{а) } \Delta T = t_a - t_i = 160 - 23 = 137 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{б) } \Delta T' = 110 - 23 = 87 \text{ }^\circ\text{C};$$

9. Оскільки $\Delta T > 0$, перевіряємо відповідність знайденої висоти труби умові $H \leq 35 \sqrt{\frac{10 \cdot D_0}{\Delta T}}$:

$$\text{а) } H \leq 35 \sqrt{\frac{10 \cdot 5,66}{137}}; \quad \text{б) } H' \leq 35 \sqrt{\frac{10 \cdot 5,32}{87}};$$

$$267,2 > 22,5;$$

$$177,8 > 27,4.$$

10. В зв'язку з тим, що величини висоти труби в обох варіантах не відповідають необхідній умові, для визначення попереднього значення висоти труби H користуємося формулою (9.47):

$$\text{а) } H'_0 = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot \eta}{(C_{\text{ААЕ}}^{\text{SO}_2} - C_0^{\text{SO}_2})^3 \sqrt[3]{Q \cdot \Delta T}}} = \sqrt{\frac{200 \cdot 4822,2 \cdot 1 \cdot 1}{(0,5 - 0,05)^3 \sqrt[3]{881 \cdot 137}}} = 208 \text{ м};$$

$$\text{б) } H'_0 = \sqrt{\frac{200 \cdot 2635,8 \cdot 1 \cdot 1}{(0,5 - 0,05)^3 \sqrt[3]{779 \cdot 87}}} = 169 \text{ м}.$$

11. За формулами (9.5) і (9.6) знаходимо параметри f і V_i :

$$a) f = 1000 \cdot \frac{V_0^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T} = 1000 \cdot \frac{35^2 \cdot 5,66}{208^2 \cdot 137} = 1,2;$$

$$V_i = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{881 \cdot 137}{208}} = 5,43;$$

$$б) f = 1000 \cdot \frac{V_0^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T} = 1000 \cdot \frac{35^2 \cdot 5,32}{169^2 \cdot 87} = 2,6;$$

$$V_i = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{799 \cdot 87}{169,5}} = 4,79.$$

12. За формулами (9.9) та (9.11) знаходимо коефіцієнти m і n :

$$a) m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f_1} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f_1}} = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{1,2} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{1,2}} = 0,88;$$

$n = 1$, тому що $V_i > 2$;

$$б) m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{2,6} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{2,6}} = 0,77; \quad n = 1.$$

13. Уточнюємо величини висоти труби H_1 за формулою (9.48)

$$a) H_1 = H_0 \cdot \sqrt{\frac{m \cdot n}{m_0 \cdot n_0}} = 208 \cdot \sqrt{\frac{0,88 \cdot 1}{1 \cdot 1}} = 195 \text{ м};$$

$$б) H_1 = 169,5 \cdot \sqrt{\frac{0,77 \cdot 1}{1 \cdot 1}} = 149 \text{ м},$$

де $m_0 = n_0 = 1$ – коефіцієнти для висоти труби H_0 .

14. Оскільки різниця між H_0 і H_1 (в обох варіантах) більше 1 м, знаходимо параметри f_1 і V_{i1} і коефіцієнти m_1 і n_1 для H_1 :

$$a) f_1 = \frac{1000 \cdot 35^2 \cdot 5,66}{195^2 \cdot 137} = 1,33;$$

$$V_{i1} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{881 \cdot 137}{195}} = 5,54;$$

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{1,33} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{1,33}} = 0,86; \quad n_1 = 1;$$

$$\text{б) } f_1 = \frac{1000 \cdot 35^2 \cdot 5,32}{149^2 \cdot 87} = 3,37;$$

$$V_{i1} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{779 \cdot 87}{149}} = 5,0;$$

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{3,37} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{3,37}} = 0,73; \quad n_1 = 1.$$

15. Уточнюємо висоту труби:

$$\text{а) } H_2 = H_1 \cdot \sqrt{\frac{m_1 \cdot n_1}{m \cdot n}} = 195 \cdot \sqrt{\frac{0,86 \cdot 1}{0,88 \cdot 1}} = 193 \text{ і } ;$$

$$\text{б) } H'_2 = 149 \cdot \sqrt{\frac{0,73 \cdot 1}{0,77 \cdot 1}} = 145 \text{ і } ;$$

16. З тієї ж причини, що й в п. 14, визначаємо параметри f_2 і V_{i2} і коефіцієнти m_2 і n_2 для H_2 :

$$\text{а) } f_2 = \frac{1000 \cdot 35^2 \cdot 5,66}{193^2 \cdot 137} = 1,36;$$

$$V_{i2} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{881 \cdot 137}{193}} = 5,56;$$

$$m_2 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{1,36} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{1,36}} = 0,859; \quad n_2 = 1;$$

$$\text{б) } f_2 = \frac{1000 \cdot 35^2 \cdot 5,32}{145^2 \cdot 87} = 3,56;$$

$$V_{i2} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{779 \cdot 87}{145}} = 5,04;$$

$$m_2 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{3,56} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{3,56}} = 0,725; \quad n_2 = 1;$$

17. Уточнюємо висоту труби H_3 :

$$\text{а) } H_3 = H_2 \cdot \sqrt{\frac{m_2 \cdot n_2}{m_1 \cdot n_1}} = 193 \cdot \sqrt{\frac{0,859 \cdot 1}{0,86 \cdot 1}} = 192,9 \text{ м};$$

$$\text{б) } H'_2 = 145 \cdot \sqrt{\frac{0,725 \cdot 1}{0,73 \cdot 1}} = 144,5 \text{ м}.$$

18. Різниця між H_3 і H_2 для обох варіантів менша 1 м, тому приймаємо висоту димової труби для варіанту а) (без попереднього очищення газів) рівною 192,9 м, а для варіанта б) (з попереднім очищенням газів) – 144,5 м.

Приклад 9.3. Розрахувати гранично допустимі викиди шкідливих речовин у газах, які викидаються ТЕС потужністю $P=100000$ кВт електроенергії, яка працює на Донецькому пісному вугіллі, і при необхідності вибрати апарати для їх очищення.

Висота труби для розсіювання газів $H=60$ м, діаметр отвору труби $D_0=2,5$ м; температура газів, які викидаються $t_r=160^\circ\text{C}$; температура навколишнього атмосферного повітря $t_i=23^\circ\text{C}$; фонові концентрації: оксидів сірки $C_{\text{SO}_2}^{\text{SO}_2} = 0,1$ мг/м³; оксидів азоту $C_{\text{NO}_2}^{\text{NO}_2} = 0,005$ мг/м³.

ТЕС заходиться на Україні в зоні від 50° до 52° південної широти, місцевість рівна.

Розв'язування

1. Визначаємо об'єм газів Q , м³/с, які викидаються при нормальних умовах:

$$Q = \frac{P}{3600} \cdot q_a = \frac{100000}{3600} \cdot 4 = 111,1 \text{ м}^3/\text{с},$$

де q_a – питомі викиди газів, г/(кВт·год) [додаток К].

2. Знаходимо об'єм газів Q , м³/с, які викидаються при робочих умовах:

$$Q_1 = Q \cdot \frac{T_0 + t_{\bar{a}}}{T_0} = 1111,1 \cdot \frac{273 + 160}{273} = 176,2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Розраховуємо величини викидів шкідливих речовин:
золи

$$M_{\zeta} = \frac{P}{3600} \cdot q_{\zeta} = \frac{100000}{3600} \cdot 97 = 2696,6 \text{ г/с};$$

двоокису сірки

$$M_{\text{SO}_2} = \frac{P}{3600} \cdot q_{\text{SO}_2} = \frac{100000}{3600} \cdot 21,6 = 600,5 \text{ г/с};$$

окислів азоту

$$M_{\text{NO}_2} = \frac{P}{3600} \cdot q_{\text{NO}_2} = \frac{100000}{3600} \cdot 2,8 = 77,8 \text{ г/с}.$$

4. Згідно з п. 9.1.1 коефіцієнт $A = 180$, коефіцієнт $\eta = 1$, коефіцієнт F : для золи $F = 3$, для двоокису сірки і окислів азоту $F = 1$.

Максимальна разова гранична концентрація (додаток Б) золи $C_{\text{ААЕ}}^{\zeta} = 0,5 \text{ м}^3/\text{г}$; двоокису сірки $C_{\text{ААЕ}}^{\text{SO}_2} = 0,5 \text{ м}^3/\text{г}$; окислів азоту $C_{\text{ААЕ}}^{\text{NO}_2} = 0,085 \text{ м}^3/\text{г}$.

5. Знаходимо різницю температур ΔT між температурою газів, які викидаються, і температурою навколишнього атмосферного повітря:

$$\Delta T = t_{\bar{a}} - t_{\bar{i}} = 160 - 23 = 137 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

6. За формулами (9.5) і (9.6) визначаємо параметри f і V_i :

$$f = 1000 \cdot \frac{V_0^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T} = 1000 \cdot \frac{15^2 \cdot 2,5}{60^2 \cdot 137} = 1,14;$$

$$V_i = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{176,2 \cdot 137}{60}} = 4,8;$$

де V_0 – рекомендована швидкість виходу газів з труби висотою до 120 м.

7. За формулами (9.9) та (9.11) знаходимо коефіцієнти m і n :

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{1,14} + 0,34\sqrt[3]{1,14}} = 0,883$$

$n = 1$, тому що $V_i > 2$.

8. Знаходимо величини гранично допустимих викидів шкідливих речовин, користуючись формулою (8.8) [27]:

золи

$$\hat{A}_{\text{ç}} = \frac{(\tilde{N}_{\text{AAE}}^{\text{ç}} - \tilde{N}_{\text{O}}^{\text{ç}}) \cdot \dot{I}^2}{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{Q_1 \cdot \Delta T} = \frac{(0,5 - 0) \cdot 60^2}{180 \cdot 3 \cdot 0,883 \cdot 1 \cdot 1} \cdot \sqrt[3]{176,2 \cdot 137} = 109,1 \text{ ã / ñ};$$

двоокису сірки

$$\hat{A}_{\text{SO}_2} = \frac{(0,5 - 0) \cdot 60^2}{180 \cdot 1 \cdot 0,883 \cdot 1 \cdot 1} \cdot \sqrt[3]{176,2 \cdot 137} = 262 \text{ г/с};$$

окислів азоту

$$\hat{A}_{\text{NO}_2} = \frac{(0,085 - 0,005) \cdot 60^2}{180 \cdot 1 \cdot 0,883 \cdot 1 \cdot 1} \cdot \sqrt[3]{176,2 \cdot 137} = 52,5 \text{ ã / ñ};$$

9. Визначаємо необхідний ступінь очищення η_0 газів, які викидаються, від золи:

$$\eta_0 = \frac{M_{\text{ç}} - \hat{A}_{\text{ç}}}{\dot{I}_{\text{ç}}} = \frac{2696,6 - 109,1}{2696,6} = 0,96.$$

Такий ступінь очищення може забезпечити електрофільтр.

10. Знаходимо необхідну площу активного перерізу S електрофільтра, прийнявши число паралельних корпусів $N = 2$ і швидкість димових газів $V = 1,2$ м/с:

$$S = \frac{Q_1}{N \cdot V} = \frac{176,2}{2 \cdot 1,2} = 73,4 \text{ ì}^2.$$

З табл. 4.1 вибираємо електрофільтр типу ЕГА-1-30-9-6-3 висотою електродів 9 м, площею активного перерізу $S = 73,4 \text{ м}^2$ і максимальним ступенем очищення $\eta_0 = 0,99$.

11. Враховуючи сумісну дію двоокису сірки і окислів азоту, приводимо величини фактичних і гранично допустимих викидів цих речовин до викидів за двоокисом сірки:

$$M = M_{\text{SO}_2} + 5,88M_{\text{NO}_2} = 600,5 + 5,88 \cdot 77,8 = 1058 \text{ т/рік};$$

$$\tilde{M} = \tilde{M}_{\text{SO}_2} + 5,88M_{\text{NO}_2} = 262 + 5,88 \cdot 52,5 = 570,7 \text{ т/рік}.$$

12. Визначаємо необхідний ступінь очищення газів, які викидаються, від двоокису сірки та окислів азоту:

$$\eta_0 = \frac{\tilde{M} - \tilde{M}}{\tilde{M}} = \frac{1058 - 570,7}{1058} = 0,46.$$

Такий ступінь очищення можна забезпечити абсорбційним очищенням газів в абсорберах (рис. 6.1) лужними розчинами NaOH, Na₂CO₃ та Ca(OH)₂ [34].

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте умови, які впливають на розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі.
2. Наведіть класифікацію видів температурної інверсії та їх вплив на розсіювання промислових викидів.
3. Нарисуйте схему розподілення концентрації шкідливих речовин в атмосфері при викиді через вертикальну трубу.
4. Охарактеризуйте зони різного забруднення приземного шару атмосфери.
5. Опишіть вимоги ОНД-86 до розсіювання та визначення приземних концентрацій викидів промислових підприємств.
6. Наведіть формулу для визначення максимального значення приземної концентрації шкідливої речовини.
7. Знайдіть витрати газоповітряної суміші при виході з труби діаметром $\tilde{D} = 2$ м зі швидкістю $V_0 = 25$ м/с.
8. Знайдіть відстань від труби виствою $H = 100$ м, на якій концентрація аміаку буде максимальною ($d = 6,5$).

10 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ТА УМОВИ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Відповідно з наведеною в п.1.6 класифікацією раціональне розташування (розосередження) і локалізація джерел забруднення відноситься до організаційно-технічних методів захисту навколишнього природного середовища.

З організаційної точки зору розташування підприємств, споруд та інших об'єктів, які впливають на стан атмосферного повітря, а також вимоги до його охорони при розвитку міст та інших населених пунктів регламентуються Законом України „Про охорону навколишнього природного середовища” від 25 червня 1991 року, Законом України „Про охорону атмосферного повітря” від 16 квітня 1992 року (див. додаток М), Державними санітарними правилами планування та забудови населених пунктів (ДСП 173-96) (див. додаток В) та Державними санітарними правилами охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та бактеріологічними речовинами) (ДСП-201-97) (див. додаток Б).

Відповідно до діючих будівельних норм та правил територія населеного пункту з урахуванням переважного функціонального використання поділяється на:

- *сельбищну територію* – для розміщення житлового фонду, громадських будівель та споруд, установ соціального, культурного та побутового призначення, внутрішньосельбищної вулично-дорожньої та транспортної мереж, зелених насаджень та місць громадського користування, окремих комунальних та промислових об'єктів, будівництво яких допускається поблизу житлової забудови;

- *виробничу територію* – для розміщення промислових підприємств і пов'язаних з ними об'єктів, комплексів наукових установ з дослідними виробництвами, комунально-складських об'єктів (баз, складів, гаражів, автопарків, трамвайних, тролейбусних депо тощо), підприємств для виробництва та перероблення сільськогосподарських продуктів, створення санітарно-захисних зон промислових підприємств, об'єктів зовнішнього транспорту, шляхів позаміського та приміського сполучення;

- *ландшафтно-рекреаційну територію*, що охоплює приміські ліси, лісопарки, лісозахисні смуги, водоймища, зони відпочинку та курортні зони, землі сільськогосподарського використання та інші, які разом з парками, садами, скверами, бульварами сельбищної території формують систему озеленення та оздоровлювальних зон.

У межах зазначених територій виділяються зони різного функціонального призначення – житлової забудови, громадських центрів, промислові, наукові, науково-виробничі, комунально-складські,

зовнішнього транспорту, масового відпочинку, курортні (при наявності лікувальних ресурсів).

10.1 Вимоги до розташування та організації виробничої території

До складу виробничої території входять: промислова, комунально-складська, науково-виробнича зони, споруди зовнішнього транспорту та міської вулично-дорожньої мережі. Розміщення вказаних зон визначається містобудівними і санітарно-гігієнічними нормами відповідно до санітарної класифікації підприємств, профілізації населеного пункту, особливостей місцевих умов тощо. У великих, крупних та найкрупніших містах допускається створення декількох промислових зон, а також сельбищно-промислових районів з обов'язковим відокремленням в самостійний промвузол групи харчових підприємств та підприємств для перероблення сільськогосподарської продукції, продовольчих складів, зерно- та овочесховищ, холодильників тощо. У селищах міського типу, малих і середніх містах слід формувати одну промислову зону багатофункціонального призначення.

У промисловій зоні підприємства слід розташовувати у складі промислових вузлів, групуючи їх за санітарними і технологічними ознаками з урахуванням класу небезпеки, щоб виключити можливість несприятливого впливу підприємства вищого класу небезпеки на працюючих, технологічні процеси, сировину або продукцію іншого підприємства нижчого класу небезпеки, а також на здоров'я і умови життя населення. Крім того, необхідно враховувати комплексний вплив на навколишнє середовище всіх підприємств, які входять в промвузол.

Доцільно здійснювати раціональне групування підприємств суміжних галузей у вигляді смуг з забезпеченням безперервної наскрізної технології, кооперування допоміжних виробництв, інженерно-технологічних, транспортних, комунально-складських та культурно-побутових споруд.

У промислові вузли, райони, до складу яких входять підприємства I та II класу небезпеки, не допускається включати підприємства харчової, легкої, хіміко-фармацевтичної промисловості, об'єкти для перероблення сільгосппродукції, продовольчі склади, зерно- та овочесховища, холодильники тощо.

Промислові підприємства (вузли) слід розташовувати на підвищених ділянках з добрим природним провітрюванням, з підвітряного боку відносно сельбищної території. При цьому слід орієнтуватися на середньорічну та сезонну (літню, зимову) розу вітрів.

На територіях з гірським, передгірним та горбистим рельєфом житлову та виробничу зони доцільно розташовувати з різних боків

водорозділу. Не допускається розташування промислової зони між водним об'єктом та сельбищною територією, а також вище за течією ріки відносно житлового району або рекреаційної зони.

10.2 Вибір району будівництва підприємств

Великі промислові комплекси, особливо підприємства хімічної та нафтохімічної промисловості, де переважна більшість технологічних процесів зв'язана з використанням токсичних речовин, як правило, не рекомендується розташовувати в районах з підвищеним, високим і небезпечним потенціалом забруднення.

В поняття потенціалу входить комплекс факторів, які характеризують вертикальне розподілення і повторюваність температури, швидкість руху вітру, а деколи й інші метеорологічні фактори. Прийнято, що високий потенціал забруднення буде відповідати тим метеорологічним умовам, при яких утворюються найбільші концентрації шкідливих речовин в приземному шарі повітря від джерел з фіксованими параметрами викидів.

При розташуванні нових і реконструкції діючих підприємств, споруд та інших об'єктів необхідно забезпечити дотримання нормативів шкідливого впливу на атмосферне повітря, а при плануванні розташування і розвитку міст та інших населених пунктів повинні враховуватися стан, прогноз змін і задачі щодо охорони атмосферного повітря від шкідливих домішок.

Необхідно уникати будівництва підприємств з великими викидами шкідливих речовин в місцях застою повітря, в низинах і котловинах. Промислові об'єкти краще розташовувати на більш високих відмітках, за виключенням місцевостей, в яких спостерігаються приземні інверсії.

Якщо промисловий об'єкт необхідно будувати в долині, то його не слід розташовувати на одній лінії з населеним пунктом (за направленням пануючого вітру). Тому в порівняно вузьких долинах промислові об'єкти потрібно розташовувати на більш високих відмітках або на схилах долини. Житлова забудівля не повинна бути вище промислового майданчика підприємства, інакше переваги високих труб для розсіювання промислових викидів зводяться нанівець.

При порівняно спокійному рельєфі місцевості промислові підприємства розташовують на рівному підвищеному місці, яке добре продувається вітрами. При можливості їх необхідно розташовувати в спеціально відведеній для цього промисловій зоні за межею населених пунктів і з підвітряної сторони від житлових масивів, щоб викиди виносилися в сторону від призначеної для забудови зони (рис. 10.1).

10.3 Компонування будівель і споруд на промисловому майданчику

На генеральному плані підприємства чи промислового комплексу розташування будівель і споруд повинно відповідати таким вимогам:

- необхідно передбачати прохідне провітрювання самого майданчика і міжцехових просторів;
- уникати розповсюдження шкідливих домішок в повітрі на інші „чистіші” виробництва;
- вирішити проблему одноразового викиду на майданчику всіх шкідливих речовин;
- вирішити організацію чіткої системи централізованих викидів і припливних центрів систем вентиляції.

Для виконання перерахованих вимог в основу планових рішень повинні бути закладені такі принципи:

- формування підприємства автономними технологічними комплексами;
- блокова система забудови генерального плану;
- зонування території на всіх етапах розвитку підприємства;
- централізація технологічних комунікацій.

Необхідно передбачати адміністративну, виробничу, допоміжну виробничу і складську зони. Технологічні потоки при цьому розташовуються на генеральному плані паралельно один одному і перпендикулярно до напрямку розвитку підприємства. Це створює сприятливі умови для їх обслуговування, централізації викидів, очищення від шкідливих речовин і провітрювання майданчика.

Будівлі та споруди на генеральному плані доцільно орієнтувати довгою стороною вздовж пануючих вітрів, використовуючи магістральні проїзди, розриви між кварталами і блоками як аераційні коридори, ширина яких 36...60 м. При компонуванні виробництв, розташованих у декількох будівлях і спорудах різної висоти, рекомендується проектувати об'єкти меншої висоти зі сторони пануючого напрямлення вітру. При відсутності пануючого напрямлення руху вітру вищі будівлі та споруди доцільно розташовувати ближче до центра планованого блока.

Адміністративно-господарські будівлі, розташовані у виробничій зоні, захищають смугою зелених насаджень від шкідливого впливу газів, пилу, шуму тощо. При значному масиві зелених насаджень забезпечують розрив між ними для провітрювання. При виборі асортименту деревно-кущових порід враховуються не тільки декоративні, але і санітарні та протипожежні властивості, а також стійкість у певних рослин проти дії виробничих хімічно шкідливих речовин.

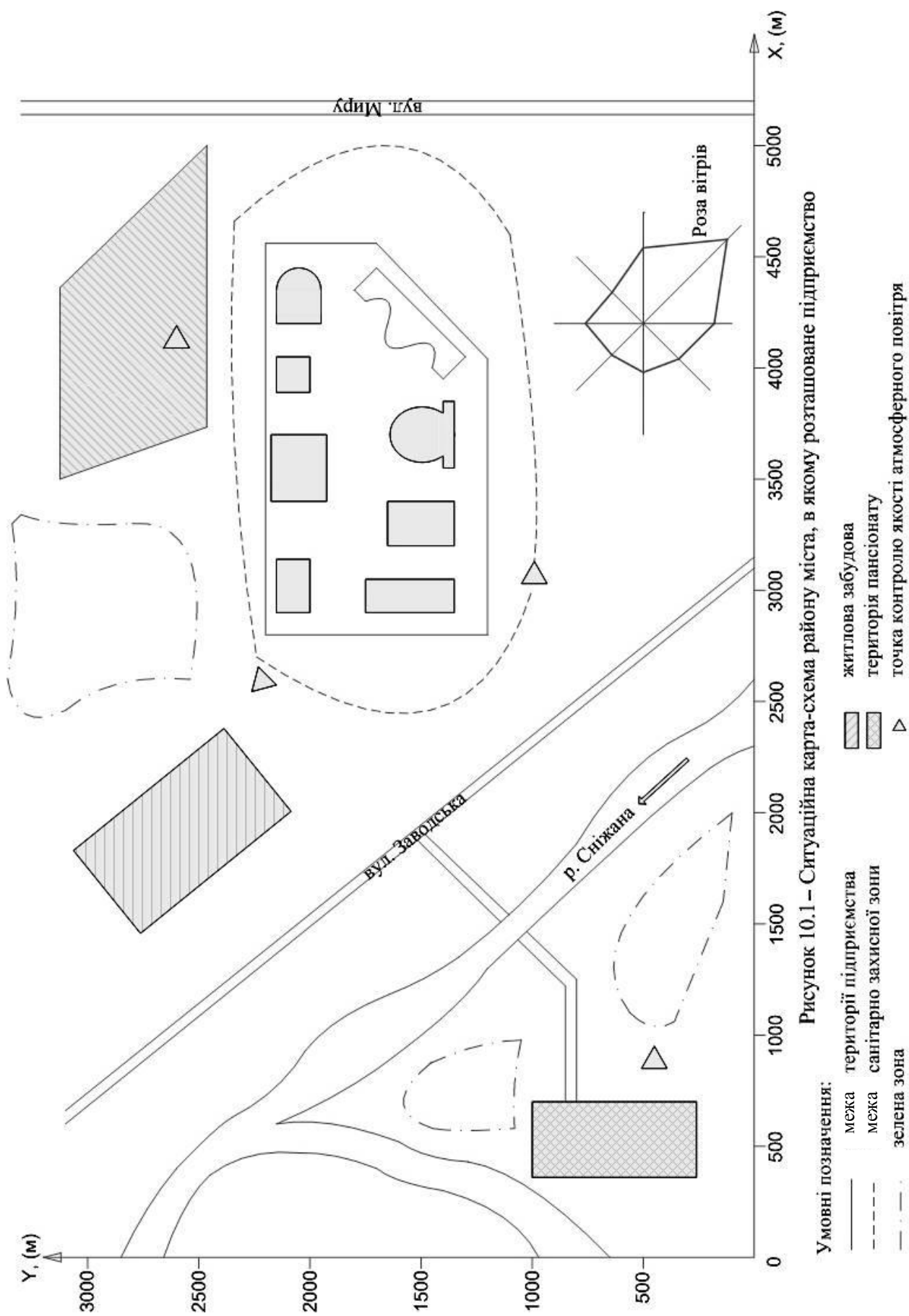


Рисунок 10.1 – Ситуаційна карта-схема району міста, в якому розташоване підприємство

Умовні позначення:

- межа території підприємства
- межа санітарно захисної зони
- ... зелена зона
- ▨ житлова забудова
- ▧ територія пансіонату
- △ точка контролю якості атмосферного повітря

10.4 Санітарно-захисні зони

Відповідно до вимог ДСП 173-96 санітарно-захисну зону слід встановлювати від джерел шкідливості до межі житлової забудови, ділянок громадських установ, будинків і споруд, в тому числі дитячих, навчальних, лікувально-профілактичних установ, закладів соціального забезпечення, спортивних споруд тощо, а також територій парків, садів, скверів та інших об'єктів зеленого будівництва загального користування, ділянок оздоровлювальних та фізкультурно-спортивних установ, місць відпочинку, садівницьких товариств та інших, прирівняних до них об'єктів, в тому числі:

- для підприємств з технологічними процесами, які є джерелами забруднення атмосферного повітря шкідливими, із неприємним запахом хімічними речовинами та біологічними факторами, безпосередньо від джерел забруднення атмосфери організованими викидами (через труби, шахти) або неорганізованими викидами (через ліхтарі будівель, поверхні технологічних установок, які димлять чи парують, та інших споруд), а також від місць розвантаження сировини, промпродуктів або відкритих складів;

- для підприємств з технологічними процесами, які є джерелами шуму, ультразвуку, вібрації, статичної електрики, електромагнітних та іонізуючих випромінювань та інших шкідливих факторів – від будівель, споруд та майданчиків, де встановлено обладнання (агрегати, механізми), що створює ці шкідливості;

- для теплових електростанцій, промислових та опалювальних котелень – від димарів та місць зберігання і підготовки палива, джерел шуму;

- для санітарно-технічних споруд та установок комунального призначення, а також сільськогосподарських підприємств та об'єктів – від межі об'єкта.

На зовнішній межі санітарно-захисної зони, поверненої до житлової забудови, концентрації та рівні шкідливих факторів не повинні перевищувати їх гігієнічні нормативи (ГДК, ГДР), на межі курортно-рекреаційної зони – 0,8 від значення нормативу. Територія санітарно-захисної зони не повинна розглядатись як резерв розширення підприємств, сельбищної території та прирівняних до них об'єктів.

Розміри санітарно-захисних зон для промислових підприємств та інших об'єктів, що є джерелами виробничих шкідливостей, слід встановлювати відповідно до діючих санітарних норм їх розміщення при підтвердженні достатності розмірів цих зон за „Методикою расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий” ОНД-86, розрахунками рівнів шуму та електромагнітних випромінювань з урахуванням реальної санітарної ситуації

(фонового забруднення, особливостей рельєфу, метеоумов, рози вітрів тощо), а також даних лабораторних досліджень щодо аналогічних діючих підприємств та об'єктів.

У тих випадках, коли розрахунками не підтверджується розмір нормативної санітарно-захисної зони або неможлива її організація в конкретних умовах, необхідно приймати рішення про зміну технології виробництва, що передбачає зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу, його перепрофілювання або закриття.

Всі підприємства залежно від їх потужності, умов здійснення технологічного процесу, характеру і кількості шкідливих та таких, що неприємно пахнуть речовин, які викидаються в навколишнє середовище, а також інших шкідливих факторів поділяються на шість класів (додаток В). Відповідно з санітарною класифікацією підприємств, виробництв і об'єктів встановлені такі розміри санітарно-захисних зон для підприємств:

Клас підприємства	I А	I Б	II	III	IV	V
Розмір, м	3000	1000	500	300	100	50

При наявності несприятливих аерологічних умов (часті штیلی, тумани) для розсіювання виробничих викидів в атмосфері при відсутності ефективних способів їх очищення та ряду інших факторів санітарно-захисна зона може бути збільшена, але не більше ніж в 3 рази, при відповідних техніко-економічних і гігієнічних обґрунтуваннях і наявності спільного рішення Міністерства охорони здоров'я і Держбуду України. В кожному конкретному випадку розміри санітарно-захисних зон і можливі відхилення від цих розмірів повинні підтверджуватися розрахунком відповідно до вимог ОНД-86.

На рис. 10.2 наведений приклад побудови санітарно-захисної зони з корекцією на асиметричну розу вітрів для одиночного (чи зосереджених) джерела викидів забруднювальних речовин. Для розосереджених джерел викидів межа санітарно-захисної зони буде залежати від кількості та класу небезпеки викидів кожного джерела (рис. 10.3).

Одержаний за розрахунком розмір санітарно-захисної зони l , м, повинен уточнюватися як в сторону збільшення, так і в сторону зменшення залежно від рози вітрів району розташування підприємства за формулою:

$$l = l_0 \cdot \frac{P}{P_0},$$

де l_0 – величина санітарно-захисної зони відповідно до ДСП 173-96 або одержана розрахунком без урахування поправки на розу вітрів, м;

P – середньорічна повторюваність напрямку вітрів румба, що розглядається, %;

P_0 – повторюваність напрямків вітрів одного румба при круговій розі вітрів (при восьмирумбовій розі вітрів $P_0 = 100/8 = 12,5$ %).

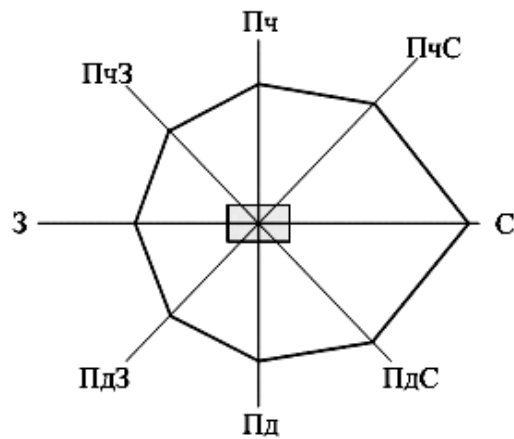


Рисунок 10.2 – Схема санітарно-захисної зони з розмірами, що уточнені в залежності від середньорічної повторюваності вітрів:

Повторюваність $P, \%$	12	14	18	14	12	10	10	10
Напрямок вітру	Пч	ПчС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПчЗ

Основою для встановлення санітарно-захисних зон є санітарна класифікація підприємств, виробництв та об'єктів, що наведена у додатку В. Розміри санітарно-захисних зон та санітарних розривів від сільськогосподарських підприємств і виробничих комплексів слід приймати відповідно до „Санитарных правил для животноводческих предприятий” № 4542-87, „Санитарных правил и норм размещения, устройства и эксплуатации малых ферм для содержания животных (скота, птицы, зверей) в населенных пунктах Украинской ССР” № 5.02-12/Н, ДБН Б.2.4-3-95 „Генеральні плани сільськогосподарських підприємств”.

Санітарно-захисна зона для підприємств та об'єктів, що проектується з впровадженням нової технології або реконструюються, може бути збільшена при необхідності та належному техніко-економічному й гігієнічному обґрунтуванні, але не більше ніж в 3 рази у випадках:

- відсутності способів очищення викидів;
- неможливості знизити надходження в навколишнє середовище хімічних речовин, електромагнітних та іонізуючих випромінювань і інших шкідливих факторів до меж, встановлених нормативами;
- при розташуванні житлової забудови, оздоровлювальних та інших прирівняних до них об'єктів з підвітряного боку відносно підприємств у зоні можливого забруднення атмосфери.

Якщо трикратне збільшення санітарно-захисної зони не забезпечує припинення впливу підприємства на стан навколишнього середовища та здоров'я населення, необхідно приймати рішення про зміну технології виробництва, що передбачає зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу, його перепрофілювання або закриття.

Розміри санітарно-захисної зони можуть бути зменшені, коли в результаті розрахунків та лабораторних досліджень, проведених для району розташування підприємства або іншого виробничого об'єкта, буде встановлено, що на межі житлової забудови та прирівняних до неї об'єктів концентрації шкідливих речовин у атмосферному повітрі, рівні шуму, вібрації, ультразвуку, електромагнітних та іонізуючих випромінювань, статичної електрики не перевищуватимуть гігієнічні нормативи.

У разі організації нових, не вивчених у санітарно-гігієнічному відношенні виробництв та технологічних процесів, а також будівництва (реконструкції) великих підприємств I та II класів небезпеки та їх комплексів, що можуть несприятливо впливати на навколишнє середовище та здоров'я населення, розміри санітарно-захисних зон слід встановлювати у кожному конкретному випадку з урахуванням даних про ступінь впливу на навколишнє середовище аналогічних об'єктів, які функціонують у державі та за її кордоном і відповідних розрахунків.

Розміри санітарно-захисних зон для нових видів виробництв, підприємств та інших виробничих об'єктів з новими технологіями, а також зміни цих зон (збільшення чи зменшення) затверджуються при належному обґрунтуванні Головним державним санітарним лікарем України.

У санітарно-захисних зонах не можна допускати розміщення:

- житлових будинків з прилеглими територіями, гуртожитків, готелів, будинків для приїжджих, аварійних селищ;
- дитячих дошкільних закладів, загальноосвітніх шкіл, лікувально-профілактичних та оздоровлювальних установ загального і спеціального призначення зі стаціонарами, наркологічних диспансерів;
- спортивних споруд, садів, парків, садівницьких товариств;
- охоронних зон джерел водопостачання, водозабірних споруд та споруд водопровідної розподільної мережі.

Не допускається використання для вирощування сільськогосподарських культур, пасовищ для худоби земель санітарно-захисної зони підприємств, які забруднюють навколишнє середовище високотоксичними речовинами та речовинами, що мають віддалену дію (солі важких металів, канцерогенні речовини, діоксини, радіоактивні речовини тощо). Можливість сільськогосподарського використання земель санітарно-захисних зон, що не забруднюються вищепереліченими речовинами, необхідно визначати за погодженням з територіальними органами Мінсільгоспвиробництва і Міністерства охорони здоров'я України.

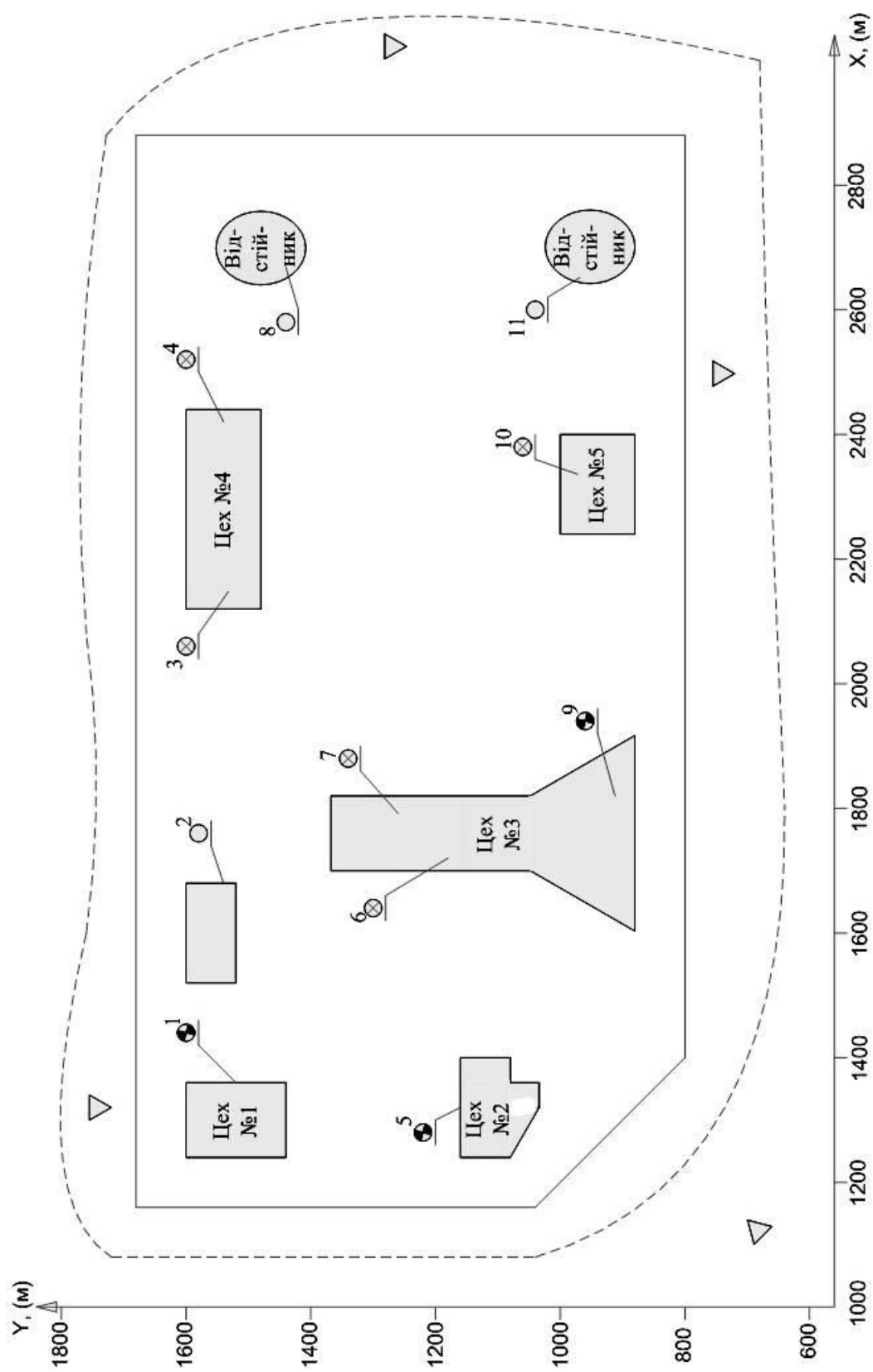


Рисунок 10.3 – Карта-схема підприємства

Умовні позначення:

- межа території підприємства
- - - санітарно-захисна зона
- △ точка контролю якості атмосферного повітря
- 1, 2, 3 номери джерел викидів
- неконтрольовані джерела
- ⊗ контрольовані джерела
- джерела, працюючі в періоди НМУ

У промислові райони, відділені від сельбищної території санітарно-захисною зоною шириною 1000 м і більше не слід включати підприємства харчової, медичної, легкої та інших видів промисловості, на продукцію яких і умови праці робітників можуть негативно впливати викиди виробництв високого класу шкідливості.

У санітарно-захисній зоні допускається розташовувати:

- пожежні депо, лазні, пральні, гаражі, склади (крім громадських та спеціалізованих продовольчих);
- будівлі управлінь, конструкторських бюро, навчальних закладів;
- виробничо-технічні училища без гуртожитків, магазини, підприємства громадського харчування, поліклініки, науково-дослідні лабораторії, пов'язані з обслуговуванням даного та прилеглих підприємств;
- приміщення для чергового аварійного персоналу та добової охорони підприємств за встановленим списочним складом;
- стоянки для громадського та індивідуального транспорту;
- місцеві та транзитні комунікації, ЛЕП, електростанції, нафто- і газопроводи;
- свердловини для технічного водопостачання, водоохолоджувальні споруди, споруди для підготовки технічної води;
- каналізаційні насосні станції, споруди оборотного водопостачання;
- розсадники рослин для озеленення підприємств та санітарно-захисної зони.

Територія санітарно-захисної зони має бути розпланованою та упорядкованою. Мінімальна площа озеленення санітарно-захисної зони залежно від ширини зони повинна складати: до 300 м – 60%, від 300 до 1000 м – 50%, понад 1000 м – 40%.

З боку сельбищної території необхідно передбачати смугу деревочагарникових насаджень шириною не менше 50 м, а при ширині зони до 100 м – не менше 20 м.

Проект організації санітарно-захисної зони слід розробляти в комплексі з проектом будівництва (реконструкції) підприємства з першочерговою реалізацією заходів, передбачених у зоні.

10.5 Регулювання викидів при несприятливих метеорологічних умовах

В ряді випадків здійснення радикальних заходів для захисту повітряного басейну буває утрудненим, розрахованим на тривалий період, і вимагає значних капітальних вкладень. В зв'язку з цим великого значення набуває розроблення і здійснення заходів для тимчасового скорочення шкідливих викидів в атмосферу в періоди несприятливих метеорологічних умов.

Забруднення приземного шару повітря, створюване викидами промислових підприємств, теплових електростанцій, транспорту та інших об'єктів, значно залежить від метеорологічних умов. В окремі періоди, коли метеорологічні умови сприяють накопиченню шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери, концентрації домішок в повітрі можуть різко зростати. Щоб в ці періоди не допускати виникнення високого рівня забруднень, необхідне завчасне прогнозування таких умов і вчасне скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу. В наш час в системі Держкомгідромету розроблені методи прогнозування забруднення повітря. Оперативне прогнозування здійснюється в ряді міст країни, прогнози високих рівнів забруднення повітря є підставою для регулювання викидів.

Під регулюванням викидів шкідливих речовин в атмосферу мається на увазі їх короткочасне скорочення в періоди несприятливих метеорологічних умов (НМУ), які призводять до формування високого рівня забруднення повітря. Регулювання викидів здійснюється з урахуванням прогнозу НМУ на основі попереджень про можливий шкідливий ріст концентрацій домішок в повітрі з метою його зменшення.

Прогноз забруднення атмосфери і регулювання викидів є важливою складовою частиною всього комплексу заходів для забезпечення чистоти повітряного басейну. Ці роботи дуже важливі в містах з відносно високим середнім рівнем забруднення повітря.

Заходи для скорочення викидів забруднювальних речовин в атмосферу в періоди НМУ розробляють підприємства, організації, заклади, розташовані в населених пунктах, де органами Держкомгідромету проводиться чи планується проведення прогнозування НМУ.

При розробленні заходів для регулювання викидів необхідно враховувати внесок різних джерел в створення приземних концентрацій домішок. В кожному конкретному випадку необхідно визначати, на яких джерелах належить скорочувати викиди в першу чергу, щоб одержати найбільший ефект. Так, з формули (9.3) для розрахунку максимальної концентрації домішок в повітрі видно, що концентрація значно зменшується зі збільшенням висоти труби, особливо у випадках гарячих викидів. Отже, в періоди НМУ при інших рівних умовах необхідно в першу чергу скорочувати низькі викиди.

Концентрація домішок залежить від числа труб, через які надходять в атмосферу шкідливі речовини. Ця залежність особливо значна для випадку холодних викидів, для яких концентрація прямо пропорційна числу труб. В зв'язку в цим при настанні НМУ необхідно в першу чергу знижувати викиди, які надходять з великої кількості дрібних джерел. Значення концентрації зменшується зі збільшенням перегріву відпрацьованих газів відносно навколишнього повітря. Чим холодніші викиди, тим більш ефективним для зменшення приземних концентрацій є їх короткочасне скорочення.

Для ефективного попередження підвищення рівня забруднення повітря в періоди НМУ необхідно в першу чергу скорочувати низькі, розосереджені, холодні викиди.

При розробленні заходів для короткочасного скорочення викидів в періоди НМУ необхідно враховувати:

- заходи повинні бути достатньо ефективними і практично виконуваними;

- заходи повинні враховувати специфіку конкретних виробництв. В зв'язку з цим їх необхідно розробляти, головним чином, безпосередньо на підприємствах і в галузевих інститутах;

- здійснення розроблених заходів, за можливості, не повинно супроводжуватися скороченням виробництва. Таке скорочення в зв'язку з виконанням додаткових заходів допускається тільки в рідких випадках, коли загроза інтенсивного накопичення домішок в приземному шарі атмосфери особливо велика.

Попередження про підвищення рівня забруднення повітря в зв'язку з очікуваними несприятливими метеорологічними умовами складають в прогностичних підрозділах Держкомгідромету. Застосовують два види попереджень про можливе формування підвищеного рівня забруднення повітря: від окремих джерел і по місту в цілому. В першому випадку попередження зв'язані з ростом концентрацій домішок в повітрі, що створюються викидами одного або групи джерел; в другому – з ростом загальноміського забруднення повітря.

Залежно від очікуваного рівня забруднення атмосфери складаються попередження трьох ступенів, яким відповідають *три режими роботи підприємств* в періоди НМУ.

10.5.1 Заходи для скорочення викидів при першому режимі роботи підприємства

При першому режимі роботи підприємства заходи повинні забезпечити скорочення концентрації забруднювальних речовин в приземному шарі атмосфери приблизно на 15...20%. Ці заходи носять організаційно-технічний характер, їх можна швидко здійснювати, вони не потребують значних витрат і не призводять до зниження продуктивності підприємства.

При розробленні заходів для скорочення викидів при першому режимі доцільно враховувати такі заходи загального характеру:

- посилити контроль за точним дотриманням технологічного регламенту виробництва;

- заборонити роботу обладнання на форсованому режимі;

- розосередити в часі роботу технологічних агрегатів, які не беруть участі в єдиному технологічному процесі, при роботі яких викиди шкідливих речовин в атмосферу досягають максимальних значень;

- посилити контроль за роботою контрольно-вимірювальних приладів і автоматичних систем управління технологічними процесами;
- заборонити продувку і чистку обладнання, газоходів, ємностей, в яких зберігалися забруднювальні речовини;
- припинити ремонтні роботи, зв'язані з підвищеним виділенням шкідливих речовин в атмосферу;
- посилити контроль за герметичністю газохідних систем і агрегатів, місць пересипання курних матеріалів та інших джерел пилогазорозподілення;
- посилити контроль за технічним станом і експлуатацією всіх газоочисних установок;
- забезпечити безперебійну роботу всіх пилоочисних систем і споруд та їх окремих елементів, не допускати зниження їх продуктивності, а також вимкнення на профілактичні огляди, ревізії та ремонти;
- забезпечити максимально ефективно зрошення апаратів пилогазовловлювачів;
- перевірити відповідність регламенту виробництва концентрацій поглинальних розчинів, які застосовуються в газоочисних установках;
- обмежити вантажно-розвантажувальні роботи, зв'язані зі значними виділеннями в атмосферу забруднювальних речовин;
- використати запас високоякісної сировини, при роботі на якій забезпечується зниження викидів забруднювальних речовин;
- інтенсифікувати вологе прибирання виробничих приміщень підприємства, де це допускається правилами техніки безпеки;
- припинити випробовування обладнання, зв'язаного зі зміною технологічного режиму і збільшенням викидів забруднювальних речовин в атмосферу;
- забезпечити контроль ступеня очищення газів в пилогазоочисних установках, викидів шкідливих речовин в атмосферу безпосередньо на джерелах і на межі санітарно-захисної зони.

10.5.2 Заходи для скорочення викидів при другому режимі роботи підприємства

При другому режимі роботи підприємства заходи повинні забезпечити скорочення концентрації забруднювальних речовин в приземному шарі атмосфери приблизно на 20...40%. Ці заходи включають в себе всі заходи, розроблені для першого режиму, а також заходи, які впливають на технологічні процеси з незначним зниженням продуктивності підприємства.

При розробленні заходів для скорочення викидів при другому режимі доцільно враховувати такі заходи загального характеру:

- знизити продуктивність окремих апаратів і технологічних ліній, робота яких зв'язана зі значним виділенням в атмосферу шкідливих речовин;

- у випадку, якщо терміни початку планово-попереджувальних робіт з ремонту технологічного обладнання і настання НМУ достатньо близькі, необхідно здійснити зупинку обладнання;

- зменшити інтенсивність технологічного процесу, зв'язаного з підвищеними викидами шкідливих речовин в атмосферу на тих підприємствах, де за рахунок інтенсифікації та використання якіснішої сировини можлива компенсація відставання в періоди НМУ;

- перевести котельні та ТЕЦ, де це можливо, на природний газ або малосірчане і малозольне паливо, при роботі з якими забезпечується зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу;

- обмежити використання автотранспорту та інших пересувних джерел викидів на території підприємства і міста згідно з раніше розробленими схемами маршрутів;

- припинити обкатку двигунів на випробувальних стендах;

- прийняти заходи для попередження випаровування палива;

- заборонити спалювання відходів виробництва і сміття, якщо воно здійснюється без використання спеціальних установок, оснащених пилогазовловлювальними апаратами;

- заборонити роботу на холодильних та інших установках, пов'язаних з витоком забруднювальних речовин.

10.5.3 Заходи для скорочення викидів при третьому режимі роботи підприємства

Заходи повинні забезпечити скорочення концентрацій забруднювальних речовин в приземному шарі атмосфери приблизно на 40...60%, а в деяких особливо небезпечних випадках підприємствам необхідно повністю припинити викиди. Заходи третього режиму включають в себе всі заходи, розроблені для першого і другого режиму, а також заходи, здійснення яких дозволяє понизити викиди забруднювальних речовин за рахунок тимчасового скорочення продуктивності підприємства.

При розробленні заходів для скорочення викидів при третьому режимі доцільно враховувати такі заходи загального характеру:

- знизити навантаження або зупинити виробництва, які супроводжуються значними виділеннями забруднювальних речовин;

- вимкнути апарати і обладнання, робота яких пов'язана зі значним забрудненням повітря;

- зупинити технологічне обладнання у випадку виходу зі строю газоочисних пристроїв;

- заборонити проведення вантажно-розвантажувальних робіт, відвантаження готової продукції, сипучої початкової сировини і реагентів, які є джерелом забруднення;
- перерозподілити навантаження виробництв і технологічних ліній на ефективніше обладнання;
- зупинити пускові роботи на апаратах і технологічних лініях, які супроводжуються викидами в атмосферу;
- заборонити виїзд на лінію автотранспортних засобів (включаючи особистий транспорт) з невідрегульованими двигунами. Склад відпрацьованих газів не повинен перевищувати гранично допустимі викиди шкідливих речовин, які наведені в ГОСТ 17.2.2.02-98;
- знизити навантаження або зупинити виробництва, які не мають газоочисних споруд;
- провести поетапне зниження навантаження паралельно працюючих однотипових технологічних агрегатів і установок (аж до вимкнення одного, двох, трьох і т. д. агрегатів).

10.6 Оцінювання забруднення атмосферного повітря населених місць

Основною оцінювання забруднення атмосферного повітря населених місць є гігієнічні нормативи допустимого вмісту в ньому хімічних, біологічних речовин (або агентів) та допустимого впливу фізичних факторів.

Для оцінювання забруднення атмосферного повітря використовуються значення концентрацій забруднювальних речовин, одержаних при розрахунках очікуваного забруднення атмосферного повітря за діючою методикою, або значення концентрацій фактичного забруднення атмосферного повітря, одержані при лабораторних дослідженнях відповідно до вимог державного стандарту 17.2.3.01-86 „Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов” та „Руководство по контролю загрязнения атмосферы” (РД 52.04.186-89) на стаціонарних, маршрутних або підфакельних постах.

При оцінюванні забруднення атмосферного повітря населених місць допустимим та безпечним для здоров'я людей приймається рівень, при якому концентрації окремих забруднювальних речовин, а також сумарні показники забруднення не перевищують встановлені гігієнічні нормативи допустимого вмісту (ГДК, ОБРД, ГДЗ).

Оцінювання фактичних і прогнозних рівнів забруднення атмосферного повітря повинно проводитися у всіх видах передпроектної та проектної документації (в тому числі у локальних і зведених томах ГДВ) з метою обґрунтування заходів, які будуть забезпечувати додержання

гігієнічних нормативів.

10.6.1 Гігієнічні нормативи допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць

До гігієнічних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць (далі забруднювальних речовин) відносяться:

- гранично допустимі концентрації (ГДК);
- орієнтовні безпечні рівні впливу (ОБРВ);
- коефіцієнти комбінованої дії ($\hat{E}_{\hat{E}\hat{A}}$) сумісно присутніх речовин;
- показники гранично допустимого забруднення (ГДЗ), встановлені на основі $\hat{E}_{\hat{E}\hat{A}}$ сумісно присутніх речовин.

Гранично допустима концентрація (ГДК) забруднювальної речовини в атмосферному повітрі населених місць – це максимальна концентрація, при дії якої протягом усього життя людини не виникає прямого або опосередкованого несприятливого впливу на теперішнє і майбутнє покоління, не знижується працездатність людини, не погіршується її самопочуття та санітарно-побутові умови життя. ГДК встановлюється на основі тривалих досліджень за спеціальною методикою у підрозділах гігієнічного профілю, акредитованих Комітетом з питань гігієнічної регламентації МОЗ України, та затверджується головним державним санітарним лікарем України.

Орієнтовний безпечний рівень впливу (ОБРВ) – це максимальна концентрація забруднювальної речовини, яка визнається орієнтовно безпечною при діянні на людину та приймається як тимчасовий гігієнічний норматив допустимого вмісту речовини в атмосферному повітрі населених місць. ОБРВ встановлюється на основі короточасних досліджень за відповідною методикою та вводиться в дію після затвердження Головним державним санітарним лікарем України на обмежений термін.

Коефіцієнт комбінованої дії ($\hat{E}_{\hat{E}\hat{A}}$) – відображає характер сумісної біологічної дії одночасно присутніх в атмосферному повітрі забруднювальних речовин (сумація, посилення, послаблення або незалежна дія). Його цифрове значення встановлюється експериментальним (або розрахунковим) шляхом та виражається в частках від індивідуальних ГДК забруднювальних речовин.

Показник гранично допустимого забруднення ($\tilde{A}\tilde{A}\tilde{C}$) атмосферного повітря – відносний інтегральний критерій оцінювання забруднення атмосферного повітря населених місць, який характеризує інтенсивність та характер сумісного діяння всієї сукупності присутніх у ньому шкідливих домішок. $\tilde{A}\tilde{A}\tilde{C}$ розраховується для кожного випадку на основі визначених експериментально та затверджених у встановленому порядку коефіцієнтів комбінованої дії ($\hat{E}_{\hat{E}\hat{A}}$) (їх значення наведені в додатку Б) за формулою:

$$\tilde{A}\tilde{C} = \hat{E}_{\hat{A}} \cdot 100\% . \quad (10.1)$$

У випадках, коли значення $\hat{E}_{\hat{A}}$ відсутні, їх визначення проводиться за формулою:

$$\hat{E}_{\hat{A}} = \sqrt{n} , \quad (10.2)$$

де n – число речовин, присутніх у повітряному середовищі, для яких офіційно не встановлено характер комбінованої дії.

У випадках, коли присутні в атмосферному повітрі забруднювальні речовини являють собою складну суміш з встановленими та невстановленими коефіцієнтами комбінованої дії, для розрахунку $\tilde{A}\tilde{C}$ значення $\hat{E}_{\hat{A}}$ цієї суміші визначається за формулою:

$$\hat{E}_{\hat{A}\tilde{N}\tilde{N}} = \sqrt{\sum (\hat{E}_{\hat{A}21} + \hat{E}_{\hat{A}22} \dots + \hat{E}_{\hat{A}n2}) + n} + \hat{E}_m , \quad (10.3)$$

де $\hat{E}_{\hat{A}\tilde{N}\tilde{N}}$ – коефіцієнт комбінованої дії складної суміші;

$\hat{E}_{\hat{A}}$ – коефіцієнти комбінованої дії сумісно присутніх речовин, 1, 2, 3, ... n (наведені в додатку Б);

n – число речовин в суміші, значення $\hat{E}_{\hat{A}}$ яких відсутні в офіційних списках;

\hat{E}_m – числове значення коефіцієнта для речовин з незалежним характером комбінованої дії (див. додаток Б).

Примітка. В разі присутності у повітрі однієї домішки показник $\tilde{A}\tilde{C} = 100\%$.

10.6.2 Правила оцінювання забруднення атмосферного повітря

Оцінювання фактичного або прогнозованого (розрахункового) рівня забруднення атмосферного повітря проводиться шляхом зіставлення показника забруднення ($\tilde{I}\tilde{C}$) однією речовиною або сумарного показника забруднення ($\sum \tilde{I}\tilde{C}$) сумішшю речовин з показником гранично допустимого забруднення ($\tilde{A}\tilde{C}$). Допустимим визнається рівень, що не перевищує $\tilde{A}\tilde{C}$.

Сумарний показник забруднення ($\sum \tilde{I}\tilde{C}$) сумішшю речовин розраховується за формулою:

$$\sum \tilde{I}\tilde{C} = \sum \left(\frac{\tilde{N}_1}{\tilde{A}\tilde{E}_1 \cdot \hat{E}_1} + \frac{\tilde{N}_2}{\tilde{A}\tilde{E}_2 \cdot \hat{E}_2} + \dots + \frac{\tilde{N}_n}{\tilde{A}\tilde{E}_n \cdot \hat{E}_n} \right) \cdot 100\% , \quad (10.4)$$

де $\tilde{N}_1, \tilde{N}_2 \dots \tilde{N}_n$ – значення фактичних або прогнозованих концентрацій речовин, що входять до складу суміші, мг/м³);

$\tilde{A}\tilde{E}_1, \tilde{A}\tilde{E}_2 \dots \tilde{A}\tilde{E}_n$ – значення гранично допустимих концентрацій відповідних забруднювальних речовин, що входять до складу суміші, мг/м³);

$\hat{E}_1, \hat{E}_2 \dots \hat{E}_n$ – значення коефіцієнтів, які враховують клас небезпечності відповідної речовини: для речовин 1-го класу – 0,8; 2-го класу – 0,9; 3-го класу – 1,0; 4-го класу – 1,1.

Примітки:

1. У випадку відсутності значень ГДК при прогнозуванні приземних концентрацій приймаються значення ОБРВ без врахування значень коефіцієнтів К.

2. Відповідно до ГОСТ 17.2.3.01-86 „Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества атмосферного воздуха” та „Руководства по контролю загрязнения атмосферы” (РД 52.04.186-89) для оцінювання результатів досліджень на стаціонарних і маршрутних постах використовуються максимальні разові і середньодобові ГДК, на підфакельних – максимальні разові ГДК. Для оцінювання прогнозованих (розрахункових) концентрацій використовуються значення максимальних разових ГДК.

3. Відповідно до ОНД-86 „Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий” для речовин, які мають встановлені лише середньодобові гранично допустимі концентрації використовується наближене співвідношення між максимальними значеннями разових і середньодобових концентрацій і потребується щоб $0,1\tilde{N} \leq \tilde{A}\tilde{E}_{\tilde{N}\tilde{A}}$.

Для встановлення показника забруднення ($\tilde{I}\zeta$) атмосферного повітря використовуються значення фактичних концентрацій (\tilde{N}), виражені у мг/м³ і одержані при їх статистичному обробленні відповідно до вимог „Руководства по контролю загрязнения атмосферы” РД 52.04.186-89. При цьому для розрахунку $\tilde{I}\zeta$ або $\sum \tilde{I}\zeta$ значення С приймаються:

- для характеристики забруднення атмосферного повітря в районі окремих стаціонарних постів – середньоарифметичне значення з числа разових або середньодобових концентрацій, виміряних протягом року;

- для характеристики забруднення атмосферного повітря в зоні впливу окремого об'єкта чи групи об'єктів – максимальне значення концентрації, визначене як статистично достовірне максимальна величина з числа разових концентрацій, виявлених в окремих точках населеного пункту (на стаціонарних, маршрутних чи підфакельних постах або в точках при експедиційних (епізодичних) обстеженнях).

Для характеристики забруднення атмосферного повітря на основі розрахункових даних використовуються максимальні разові концентрації, одержані для конкретної території населеного пункту при розрахунках розсіювання викидів.

У населених пунктах, де відсутні спостереження за рівнями вмісту шкідливих домішок, для орієнтовної оцінки забруднення атмосферного повітря можливо використовувати дані розрахунків на ЕОМ, виконаних відповідно до затверджених Мінекобезпеки України методик і програм.

Оцінювання забруднення атмосферного повітря проводиться з урахуванням кратності перевищення показників забруднення (\bar{C}) їх нормативного значення (\bar{C}_n) і включає визначення рівня забруднення (допустимий, недопустимий) та ступеня його небезпечності (безпечний, слабконебезпечний, помірно небезпечний, небезпечний, дуже небезпечний) згідно з таблицею 10.1.

У випадках, коли при оцінюванні забруднення атмосферного повітря сумішшю речовин виявляється перевищення значення \bar{C}_n , повинні визначатись провідні компоненти. Провідними вважаються ті речовини в суміші, індивідуальні значення \bar{C} яких перевищують допустимі рівні (згідно з таблицею, гр. 3).

Для досягнення допустимого рівня вмісту шкідливих домішок в атмосферному повітрі (який не буде перевищувати значення \bar{C}_n даної суміші речовин) повинні пропонуватись та здійснюватись заходи, спрямовані на відповідне зниження їх концентрацій. Характер та строки реалізації заходів для охорони атмосферного повітря визначаються залежно від ступеня небезпечності його забруднення (згідно з таблицею).

10.7 Контроль стану навколишнього середовища

Боротьба з забрудненням навколишнього природного середовища в промислових районах, містах і на промислових майданчиках заводів, фабрик і ТЕС – це складна науково-технічна задача, основою для вирішення якої є наявність надійних методів і засобів контролю та прогнозування якості навколишнього середовища.

За допомогою контролю визначається якісний стан навколишнього і виробничого середовища, перевіряється виконання запланованих природоохоронних заходів, виявляються і фіксуються порушення санітарно-гігієнічних та інших норм і правил. Пропонуються або приймаються заходи для ліквідації виявлених недоліків і порушень, ставиться питання про покарання винних.

Дієвість природоохоронного контролю на виробництві значно залежить від раціональної системи відповідних відомчих контрольних служб, від їх взаємозв'язку і взаємодії з зовнішніми державними органами управління і контролю в цій галузі. При цьому важливе значення має

правове регулювання цих питань, вибір і застосування найбільш ефективних форм і методів контрольної діяльності, форм реагування при виявленні недоліків.

В систему органів, здійснюючих природоохоронний контроль, входять державний контроль, громадський контроль і прокурорський нагляд за додержанням законодавства про охорону навколишнього середовища.

Таблиця 10.1 – Критерії оцінювання забруднення атмосферного повітря

Рівень забруднення	Ступінь небезпечності	Кратність перевищення ГДЗ	Процент випадків перевищення ГДЗ
Допустимий	Безпечний	менше 1	0
Недопустимий	Слабко небезпечний	більше 1...2	більше 0...4
Недопустимий	Помірно небезпечний	більше 2...4,4	більше 4...10
Недопустимий	Небезпечний	більше 4,4...8	більше 10...25
Недопустимий	Дуже небезпечний	більше 8	більше 25

Примітки:

1. Наведена у таблиці шкала для оцінювання рівня та ступеня небезпечності забруднення атмосферного повітря приймається тимчасово і буде коректуватися при накопиченні нових даних.

2. Графа 4 таблиці використовується у випадках оцінювання результатів лабораторних досліджень фактичного забруднення атмосферного повітря.

Державний контроль у галузі охорони навколишнього середовища здійснюється Радами народних депутатів та їх виконавчими і розпорядчими органами, Міністерством охорони навколишнього природного середовища України, його органами на місцях та іншими спеціально уповноваженими державними органами.

Державному контролю підлягають використання і охорона земель, надр, поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря, лісів та іншої рослинності, тваринного світу, морського середовища та природних ресурсів територіальних вод, континентального шельфу та виключної (морської) економічної зони країни, природних територій та об'єктів, які підлягають особливій охороні, стан навколишнього природного середовища.

Порядок здійснення державного контролю за охороною навколишнього природного середовища та використанням природних ресурсів визначається Законом України про охорону навколишнього середовища та іншим законодавством України.

Громадський контроль у галузі охорони навколишнього середовища здійснюється громадськими інспекторами охорони навколишнього природного середовища згідно з Положенням, яке затверджується Міністерством охорони навколишнього природного середовища України.

Громадські інспектори охорони навколишнього природного середовища:

а) беруть участь у проведенні спільно з працівниками органів державного контролю рейдів та перевірок за додержанням підприємствами, установами, організаціями та громадянами законодавства про охорону навколишнього природного середовища, додержанням норм екологічної безпеки та використанням природних ресурсів;

б) проводять перевірки і складають протоколи про порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища і подають їх органам державного контролю в галузі охорони навколишнього природного середовища чи правоохоронним органам для притягнення винних до відповідальності;

в) подають допомогу органам державного контролю в галузі охорони навколишнього природного середовища в діяльності щодо запобігання екологічним правопорушенням.

Нагляд за додержанням законодавства про охорону навколишнього природного середовища здійснює Генеральний прокурор України та підпорядковані йому органи прокуратури.

При здійсненні нагляду органи прокуратури застосовують надані їм законодавством України права, включаючи звернення до судів або арбітражних судів з позовами про відшкодування шкоди, заподіяної в результаті порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища, та про припинення екологічно небезпечної діяльності.

Найбільший досвід щодо здійснення державного контролю за охороною навколишнього природного середовища набутий органами Міністерства охорони здоров'я України. Санітарний нагляд здійснюється розгалуженою системою органів і закладів санітарно-епідеміологічної служби Міністерства охорони здоров'я України.

В процесі здійснення поточного санітарного нагляду в області охорони навколишнього середовища санітарна служба здійснює нагляд за виконанням державними органами і підприємствами санітарних норм і правил щодо запровадження заходів для попередження та ліквідації

забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами і господарсько-побутовими відходами.

Службові особи органів санітарного нагляду можуть безперешкодно відвідувати об'єкти в будь-який час доби і давати вказівки про усунення виявлених порушень, а також вимагати від посадових осіб і окремих працівників відомості та документи потрібні для перевірки. Рішення і висновки органів санітарного нагляду обов'язкові для виконання всіма посадовими особами і громадянами. Головним санітарним лікарям надано право:

- робити висновки до проектів перспективних планів розташування промислових підприємств і про відповідність діючим нормам і правилам промислових та інших споруд, які вводяться в експлуатацію;

- забороняти чи припиняти діяльність діючих виробничих об'єктів;

- ставити питання про прийняття до винних осіб заходів дисциплінарного чи громадського впливу;

- накладати штрафи на винних осіб в адміністративному порядку.

Безпосередньо у виробничому об'єднанні та промисловому підприємстві можна виділити систему підрозділів і служб – відділи управління, бюро, групи, окремі спеціалісти, які займаються питаннями контролю в області охорони навколишнього середовища. Координує їх роботу підрозділ з охорони навколишнього середовища.

Серед інших виробничих служб, які мають відношення до здійснення природоохоронного контролю на виробництві, необхідно назвати відділ капітального будівництва, відділи головного енергетика, механіка, лабораторію автоматизації та механізації виробничих процесів, центральну виробничу (заводську, фабричну, дослідну, хімічну) лабораторію тощо.

Поряд з відомчим контролем в області охорони навколишнього природного середовища на виробництві велике значення має громадський контроль, що законодавчо закріплено в Законі про охорону природи України, а також в законодавчих актах про охорону землі, надр, води, лісу, атмосферного повітря, тваринного світу тощо.

Спеціальними добровільними товариствами, здійснюючи громадський контроль в області охорони навколишнього природного середовища, виступають товариства охорони природи. Такими масовими організаціями є Українське товариство охорони природи, членами якого є понад 10 млн. чоловік.

Контрольні запитання

1. Наведіть основні вимоги чинного законодавства до розташування підприємств, споруд та інших об'єктів, які негативно впливають на стан атмосферного повітря.
2. Опишіть вимоги до вибору району будівництва підприємства.
3. Розкажіть про особливості компонування будівель і споруд на промисловому майданчику.
4. Поясніть суть та наведіть розміри санітарно-захисних зон для підприємств різних класів.
5. Розкрийте особливості упорядкування санітарно-захисних зон.
6. Обґрунтуйте необхідність регулювання викидів при несприятливих метеорологічних умовах.
7. Опишіть вимоги до розроблення заходів щодо скорочення викидів в період несприятливих метеорологічних умов.
8. Наведіть заходи щодо скорочення викидів при першому режимі роботи підприємства.
9. Опишіть заходи щодо скорочення викидів при другому режимі роботи підприємства.
10. Охарактеризуйте особливості заходів для скорочення викидів при третьому режимі роботи підприємства.
11. Обґрунтуйте необхідність проведення оцінювання забруднення атмосферного повітря населених місць.
12. Охарактеризуйте гігієнічні нормативи допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць.
13. Наведіть порядок розрахунку сумарного показника забруднень сумішшю речовин.
14. Поясніть суть критеріїв оцінювання забруднення атмосферного повітря населених місць.
15. Опишіть порядок здійснення контролю за якісним станом навколишнього середовища.

11 ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

11.1 Поняття моніторингу довкілля

Зміни у навколишньому природному середовищі відбуваються під впливом природних і антропогенних (зумовлених діяльністю людини) біосферних факторів. Пізнання цих змін неможливе без виокремлення антропогенних процесів на фоні природних, для чого й організують спеціальні спостереження за різними параметрами біосфери, які змінюються внаслідок людської діяльності. Саме у спостереженні за довкіллям, оцінюванні його фактичного стану, прогнозуванні його розвитку полягає сутність моніторингу.

Моніторинг (англ. monitoring, від лат. monitor – той, що попереджує, контролює) довкілля – система спостереження і контролю за природними, природно-антропогенними комплексами, процесами, що відбуваються у них, навколишнім середовищем загалом з метою раціонального використання природних ресурсів і охорони довкілля, прогнозування масштабів неминучих змін.

За міжнародним стандартом (СТ ІСО 4225-80) моніторинг – це:

- багаторазове вимірювання для спостереження за змінами будь-якого параметра в певному інтервалі часу;
- система довготривалих спостережень, оцінювання, контролювання і прогнозування стану і зміни об'єктів.

Це поняття вперше ввів американський вчений Р. Мунн у 1972 р. на Стокгольмській конференції ООН з охорони довкілля, відтоді проблеми моніторингу постійно обговорюються на різних міжнародних конгресах. Його об'єктами є атмосфера, гідросфера, літосфера, ґрунт, земельні, лісові, рибні, сільськогосподарські та інші ресурси і їх використання, біо- та природні комплекси і екосистеми. У процесі моніторингу ставляться такі цілі:

- кількісне і якісне оцінювання стану повітря, поверхневих вод, ґрунтового покриву, флори і фауни, а також постійний контроль стоків і викидів на промислових підприємствах;
- складання прогнозу про стан навколишнього середовища і можливі його зміни;
- спостереження за фізичними, хімічними, біологічними процесами, які відбуваються в навколишньому природному середовищі;
- спостереження за рівнем забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, водних об'єктів, наслідками його впливу на рослинний і тваринний світ;

– забезпечення зацікавлених організацій і населення поточною і екстреною інформацією про зміни в навколишньому природному середовищі, а також попередження і прогнозування його стану.

У рамках програми ООН з проблем навколишнього середовища ЮНЕП в 1973–1974 рр. були розроблені основні положення про функціонування *Глобальної системи моніторингу* навколишнього середовища, основне завдання якої – надання інформації, необхідної для захисту здоров'я, благополуччя, безпеки і свободи людей та управління навколишнім середовищем і його ресурсами. В рамках цієї програми Всесвітня морська організація забезпечує глобальний моніторинг Світового океану. У 1990 р. Міжнародний центр наукової культури (Всесвітня лабораторія) запропонував проект „*Глобальний екологічний моніторинг*” з використанням військових супутникових технологій. З 1992 р. в названому проекті беруть участь Російська Федерація, США, Україна; Казахстан, Литва і Китай – як спостерігачі.

Сутність концепції глобального моніторингу полягає в необхідності здійснення повних спостережень за елементами навколишнього середовища в просторі і часі з певною метою за конкретними програмами. На основі цієї концепції виникли різні підсистеми моніторингу довкілля:

- моніторинг приземного й верхнього шарів атмосфери;
- моніторинг атмосферних опадів;
- моніторинг гідросфери (поверхневих вод суші, вод океанів, морів і підземних вод);
- моніторинг літосфери (передусім ґрунту);
- кліматичний моніторинг;
- моніторинг озонового шару;
- моніторинг океану;
- геофізичний моніторинг;
- фізичний моніторинг;
- біогеохімічний моніторинг.

У 1986 р. Секретаріат ООН з навколишнього середовища на основі розробок Р. Мунна видав „Довідник з екологічного моніторингу”, який містить методики і програми моніторингу для країн, що розвиваються. Запропоновані системи моніторингу ґрунтуються на природно-наукових дослідженнях і передбачають:

- виявлення і дослідження природних ресурсів, які забезпечують виробництво продуктів харчування (моніторинг клімату, рельєфу, ґрунтів, рослинності, популяцій);
- дослідження природних умов (моніторинг ерозії ґрунтів, твердого стоку).

Особлива роль у вивченні навколишнього середовища належить космічному моніторингу (дистанційному моніторингу, який здійснюють за допомогою оснащених вимірювальними приладами космічних апаратів).

Сутність дистанційних методів полягає у проведенні зйомки або вимірювань без фізичного контакту з об'єктом дослідження.

Моніторинг довкілля в усіх розвинутих країнах здійснюється на основі рекомендацій ООН з урахуванням національних особливостей. У СРСР, до складу якого входила Україна, моніторинг здійснювала служба спостереження і контролю за забрудненням природного середовища (формувався з підсистем спостереження і контролювання забруднення атмосферного повітря, вод суші, морів, ґрунту, фонових забруднень певних середовищ).

В Україні у 1992 р. розпочалося розроблення і впровадження системи екологічного моніторингу України відповідно до Закону „Про охорону навколишнього природного середовища” та „Положення про державний моніторинг навколишнього середовища”. Ця система передбачає спостереження за довкіллям, збирання, оброблення і оцінювання отриманих даних та прогнозування його стану, формування відповідних баз інформації, розроблення на їх основі науково обґрунтованих природоохоронних заходів, передбачення надзвичайних ситуацій техногенного, природного характеру, створення безпечних умов життєдіяльності людини.

Отже, моніторинг довкілля є дієвим засобом природоохоронної політики, здійснюваної відповідно до екологічних прогнозів.

11.2 Загальні засади державного моніторингу навколишнього природного середовища України

Державний моніторинг навколишнього природного середовища України – це система спостережень, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан навколишнього природного середовища, прогнозування його змін та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень.

Система державного моніторингу навколишнього природного середовища України створюється з дотриманням міжнародних вимог і є сумісною з аналогічними міжнародними системами.

Система державного моніторингу навколишнього природного середовища будується на таких *принципах*:

- об'єктивності й достовірності;
- систематичності спостережень за станом навколишнього природного середовища та об'єктами впливу на нього;
- багаторівневості;
- узгодженості нормативного та методичного забезпечення;
- узгодженості технічного та програмного забезпечення;
- комплексності в оцінюванні екологічної інформації;

- оперативності проходження інформації між окремими ланками системи та вчасного інформування органів державної виконавчої влади;
- відкритості екологічної інформації для населення.

Основними завданнями системи державного моніторингу навколишнього природного середовища є:

- спостереження за станом навколишнього природного середовища;
- аналіз стану навколишнього природного середовища та прогнозування його змін;
- забезпечення органів державної виконавчої влади систематичною та оперативною інформацією про стан навколишнього природного середовища, а також прогнозами і попередженнями про можливі його зміни;
- розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень.

11.3 Структура і рівні системи державного моніторингу навколишнього природного середовища

Залежно від призначення здійснюються загальний (стандартний), оперативний (кризовий) та фоновий (науковий) моніторинг навколишнього природного середовища.

Загальний (стандартний) моніторинг навколишнього природного середовища – це оптимальні за кількістю параметрів спостереження на пунктах, об'єднаних в єдину інформаційно-технологічну мережу, які дають змогу на основі оцінювання і прогнозування стану навколишнього природного середовища регулярно розробляти управлінські рішення на всіх рівнях.

Оперативний (кризовий) моніторинг навколишнього природного середовища – це спостереження спеціальних показників на цільовій мережі пунктів у реальному масштабі часу за окремими об'єктами, джерелами підвищеного екологічного ризику в окремих регіонах, які визначено як зони надзвичайної екологічної ситуації, також у районах аварій зі шкідливими екологічними наслідками з метою забезпечення оперативного реагування на кризові ситуації та прийняття рішень щодо їх ліквідації, створення безпечних умов для населення.

Фоновий (науковий) моніторинг навколишнього природного середовища – це спеціальні високоточні спостереження за всіма складовими навколишнього природного середовища, а також за характером, складом, кругообігом та міграцією забруднювальних речовин, за реакцією організмів на забруднення на рівні окремих популяцій, екосистем і біосфери у цілому. Фоновий моніторинг здійснюється у природних і біосферних заповідниках, на інших територіях, що охороняються, на базових станціях.

Система державного моніторингу навколишнього природного середовища створюється на трьох рівнях:

- *локальному* – на території окремих об'єктів (підприємств, міст, ділянках ландшафтів);
- *регіональному* – у межах адміністративно-територіальних одиниць, на територіях економічних і природних регіонів;
- *національному* – на території країни в цілому.

11.4 Організація роботи системи державного моніторингу навколишнього природного середовища

Державний моніторинг навколишнього природного середовища України в межах своїх повноважень здійснюють Мінприроди (Міністерство охорони навколишнього природного середовища), НКАУ (Національне космічне агентство України), МОЗ (Міністерство охорони здоров'я), Мінагропром (Міністерство аграрної політики), Мінлісгосп (Міністерство лісового господарства), Держкомгідромет (Державний комітет України з гідрометерології), Держкомводгосп (Державний комітет водного господарства), Держкомгеології (Державний комітет з геології і використання природних ресурсів), Держкомзем (Державний комітет із земельних ресурсів), Держжитлокомунгосп (Державний комітет з питань житлово-комунального господарства) та їхні органи на місцях, зокрема:

Мінприроди – спостереження за:

- джерелами промислових викидів в атмосферу та дотриманням норм гранично допустимих викидів (ГДВ);
- джерелами скидів стічних вод і дотриманням норм тимчасово узгоджених скидів (ТУС) і гранично допустимих скидів (ГДС);
- станом поверхневих вод суші;
- станом ґрунтів сільськогосподарських угідь з визначенням залишкової кількості в них пестицидів і важких металів;
- скидами й викидами з об'єктів, на яких використовуються радіаційно небезпечні технології;
- станом та складом звалищ промислових і побутових відходів;
- станом наземних та морських екосистем.

НКАУ – авіаційно-космічні спостереження за:

- станом озонового шару у атмосфері;
- забрудненістю атмосфери;
- забрудненістю ґрунтів;
- станом та забрудненістю поверхневих вод;
- сніговим покривом;
- станом лісів;
- станом сільськогосподарських посівів;
- запасами вологи у ґрунті;

– радіаційним станом.

МОЗ – вибіркові спостереження за:

– рівнем забруднення атмосферного повітря в місцях проживання населення;

– станом поверхневих вод суші в місцях використання їх населенням;

– станом морських вод у рекреаційних зонах;

– хімічним та біологічним забрудненням ґрунтів на території населених пунктів і за господарсько-побутовими відходами;

– інтенсивністю фізичних факторів (шум, електромагнітні поля, радіація, вібрація тощо);

– спостереження за станом здоров'я населення і впливом на здоров'я забруднення навколишнього природного середовища.

Мінагропром:

– радіологічні, агрохімічні й токсикологічні спостереження за ґрунтами сільськогосподарського використання;

– токсикологічні та радіологічні спостереження за сільськогосподарськими рослинами і продуктами з них;

– зоотехнічні, токсикологічні та радіологічні спостереження за сільськогосподарськими тваринами і продуктами з них;

Мінлісгосп – спостереження за:

– станом лісів, ґрунтів у лісах;

– станом мисливської фауни у лісах.

Держкомгідромет – спостереження за:

– станом атмосферного повітря (включаючи спостереження за трансдонним перенесенням забруднювальних речовин);

– атмосферними опадами;

– метеорологічними умовами;

– аерологічними параметрами (на аерологічних станціях);

– станом поверхневих вод суші;

– підземними водами;

– станом і режимом морських вод;

– станом ґрунтів;

– станом озонового шару у верхній частині атмосфери;

– радіаційною обстановкою (на пунктах радіометричної мережі спостережень та в районах діяльності АЕС);

– станом сільськогосподарських посівів, запасами вологи у ґрунті та агрометеорологічними умовами формування врожаю.

Держкомводгосп:

– радіологічні та гідрохімічні спостереження за водами (на водногосподарських системах комплексного призначення, в системах міжгалузевого й сільськогосподарського водопостачання, в зонах впливу атомних електростанцій);

- спостереження за станом ґрунтів у межах впливу меліоративних систем;

- спостереження за переформуванням берегів та гідрогеологічним станом у прибережних зонах водосховищ;

- облік ресурсів поверхневих вод.

Держкомгеології:

- спостереження за підземними водами з оцінюванням їх ресурсів;

- спостереження за ендегенними та екзогенними процесами;

- державне еколого-геологічне картування території України, оцінювання стану геологічного середовища та його змін під впливом господарської діяльності.

Держкомзем – спостереження за:

- структурою землекористування;

- трансформацією земель залежно від їх цільового призначення;

- станом та якістю ґрунтів і забрудненням ландшафтів;

- станом рослинного покриву земель;

- відновленням порушених земель;

- станом зрошуваних і осушених земель, а також земель з ознаками вторинного підтоплення і засолення;

- станом берегових ліній річок, морів, озер, водосховищ, лиманів, заток.

Держжитлокомунгосп – спостереження за:

- якістю питної води централізованих систем водопостачання міст і селищ міського типу;

- станом стічної води міської каналізаційної мережі;

- станом зелених насаджень міст і селищ міського типу;

- проявами небезпечного підняття рівня ґрунтових вод у межах міст та селищ міського типу.

Підприємства, установи й організації незалежно від форм власності, діяльність яких призводить чи може призвести до погіршення стану навколишнього природного середовища, зобов'язані вести спостереження за викидами і скидами та розміщенням відходів.

Мінприроди разом з іншими органами державної виконавчої влади забезпечує вдосконалення мереж спостережень за станом навколишнього природного середовища, раціоналізацію та оптимізацію роботи служб спостережень, уніфікацію методик спостережень і лабораторних аналізів, удосконалення бази приладів і систем контролю, створення міжвідомчого розподіленого банку даних про стан навколишнього природного середовища, створення локальних, регіональних та національного центрів моніторингу навколишнього природного середовища, а також координує роботу, що проводиться в Україні за міжнародними природоохоронними програмами, в яких використовуються результати моніторингу.

Взаємодія зазначених органів, підприємств, установ, організацій та забезпечення функціонування системи державного моніторингу навколишнього природного середовища на всіх рівнях здійснюється відповідно до міжвідомчих положень і технологічних інструкцій.

11.5 Порядок функціонування системи державного моніторингу навколишнього природного середовища

Органи державної виконавчої влади, які здійснюють спостереження за станом навколишнього природного середовища, зобов'язані збирати, обробляти і безстроково зберігати з допомогою сучасних комп'ютерних технологій первинні дані про стан навколишнього природного середовища, зокрема:

Мінприроди – дані про:

- концентрацію забруднювальних речовин у скидах у водні об'єкти, в тому числі на об'єктах, які мають радіаційно небезпечні технології;
- залишкову кількість пестицидів і важких металів на сільськогосподарських угіддях;
- стан поверхневих вод суші;
- стан наземних і морських екосистем.

НКАУ – дані про:

- вміст озону в атмосфері;
- забрудненість атмосфери;
- забрудненість річкових, озерних та морських вод;
- забрудненість ґрунтів, у тому числі сільськогосподарських угідь;
- стан сільськогосподарських посівів (рівень забруднення сільськогосподарських культур промисловими токсикантами, пестицидами тощо);
- стан поверхневих вод суші;
- стан лісів;
- танення снігового покриву;
- радіаційний стан.

МОЗ – вибіркові дані про:

- рівень забруднення атмосферного повітря в місцях проживання населення;
- стан забруднення поверхневих вод суші в місцях використання їх населенням;
- стан морських вод у рекреаційних зонах;
- хімічне та біологічне забруднення ґрунтів на території населених пунктів і господарсько-побутові відходи;
- інтенсивність фізичних факторів (шум, електромагнітні поля, радіація, вібрація тощо);
- стан здоров'я населення;

– вплив забруднення навколишнього природного середовища на здоров'я.

Мінагропром – дані:

– радіологічного, агрохімічного й токсикологічного спостереження за ґрунтами сільськогосподарського використання;

– токсикологічного і радіологічного спостереження за сільськогосподарськими рослинами та продуктами з них;

– зоотехнічного, токсикологічного і радіологічного спостереження за сільськогосподарськими тваринами і продуктами з них.

Мінлісгосп – дані про:

– стан лісів;

– ступінь пошкодження насаджень (токсичними викидами, рекреацією, зміною гідрологічного режиму, ентомошкідниками та фітозахворюваннями);

– концентрацію радіонуклідів, токсичних речовин у ґрунті та в різних ярусах лісових насаджень;

– стан мисливської фауни у лісах.

Держкомгідромет – дані:

– гідрологічних, метеорологічних і агрометеорологічних вимірів;

– про стан озонового шару у верхній частині атмосфери;

– про концентрацію шкідливих речовин (у тому числі радіоактивних) в атмосферному повітрі, водних об'єктах і в ґрунті;

– про залишкову кількість пестицидів і важких металів у ґрунтах.

Держкомводгосп – дані про:

– концентрацію радіоактивних речовин у річках, водосховищах, каналах, зрошувальних системах і водоймах у зонах атомних електростанцій;

– концентрацію забруднювальних речовин у поверхневих водах у місцях їх інтенсивного використання для народногосподарських потреб;

– використання води підприємствами, установами й організаціями;

– меліоративний стан зрошуваних та осушуваних земель (глибину залягання та мінералізацію ґрунтових вод, ступінь засоленості та солонцюватості ґрунтів, обсяги заходів щодо поліпшення меліоративного стану);

– підтоплення сільських населених пунктів;

– переформування берегів і гідрогеологічний стан (підтоплення території) в прибережних зонах водосховищ.

Держкомгеології – дані:

– про стан підземних вод;

– спостережень за ендегенними та екзогенними процесами;

– про геофізичні поля;

– про геохімічний стан ландшафтів.

Держкомзем – дані про:

- структуру землекористування в регіоні за видами угідь та їх господарське використання;
- трансформацію земель цільового призначення;
- стан і якість ґрунтів (рівні забруднення, прояви ерозійних та інших екзогенних процесів) та стан рослинного покриву земель;
- стан поверхневих і підземних вод (вибірково);
- стан берегових ліній річок, морів, озер, водосховищ, лиманів, заток, гідротехнічних споруд;
- рекультивацію порушених земель;
- стан зрошуваних, осушених земель, а також земель, що мають ознаки вторинного підтоплення і засолення;
- стан і рівні забруднення земель викидами і скидами промислових підприємств та об'єктами сільськогосподарського виробництва.

Держжитлокомунгосп – дані про:

- концентрацію забруднювальних речовин у питній воді центра-лізованих систем водопостачання міст і селищ міського типу;
- концентрацію забруднювальних речовин у стічних водах підприємств, які скидаються до міської каналізаційної мережі;
- концентрацію забруднювальних речовин у стічних водах після очисних споруд міст і селищ міського типу;
- ступінь пошкодження насаджень у містах і селищах міського типу (ентомошкідниками, фітозахворюваннями тощо);
- підтоплення міст і селищ міського типу.

Підприємства, установи й організації, які ведуть спостереження за станом навколишнього природного середовища, зобов'язані збирати і безстроково зберігати первинні дані про стан навколишнього природного середовища, обробляти, узагальнювати та безплатно надавати додатково до форм статистичної звітності дані спостережень або іншу інформацію на запит органів державної виконавчої влади.

Аналіз і узагальнення інформації про стан навколишнього природного середовища здійснюються органами державної виконавчої влади, підприємствами, установами, організаціями, які провадять моніторинг навколишнього природного середовища, відповідно до відомчих нормативних актів та методик, а також з допомогою розподіленого міжвідомчого банку даних.

Аналіз екологічної інформації та прогнозування стану навколишнього природного середовища проводиться з використанням сучасних інформаційних технологій на всіх рівнях (локальному, регіональному, національному) системи державного моніторингу навколишнього природного середовища.

Узагальнення інформації про стан навколишнього природного середовища повинно здійснюватися з використанням сучасних комп'ютерних технологій.

Узагальнена інформація надходить до регіональних і національного центрів моніторингу навколишнього природного середовища, органів Мінприроди на місцях, інших органів державної виконавчої влади з метою розроблення обґрунтованих рекомендацій для прийняття ефективних управлінських рішень щодо запобігання негативним процесам та усунення їх наслідків. Узагальнена інформація є доступною також для служб спостережень, локальних центрів моніторингу.

Обмін інформацією про стан навколишнього природного середовища між органами державної виконавчої влади, підприємствами, установами, організаціями, які здійснюють державний моніторинг навколишнього природного середовища, проводиться безплатно, з використанням сучасних засобів зв'язку.

Прогнозування змін стану навколишнього природного середовища або окремих його складових здійснюють органи державної виконавчої влади, які провадять державний моніторинг навколишнього природного середовища як самостійно, так і з залученням науково-дослідних установ та творчих колективів.

11.6 Організація спостережень та контролю за забрудненням атмосферного повітря

Зростання антропогенного впливу на навколишнє середовище вимагає оволодіння різноплановою і детальною інформацією про нього, яка дає змогу не тільки оцінити реальну ситуацію, а й спрогнозувати стан середовища у перспективі, налагодити раціональну систему природоохоронної діяльності, контролю за станом екосистем.

Світові міжнародні та регіональні системи спостережень і контролю за забрудненням атмосферного повітря розвинутих країн організовані відповідно до рекомендацій ООН, які були розроблені при створенні програм моніторингу. Спостереження за станом атмосферного повітря проводять з 70-х років ХХ ст. Системи моніторингу атмосферного повітря різних країн, як правило, відстежують якість повітря та його зміни в критичних аварійних ситуаціях. Перелік забруднювальних речовин, за якими варто здійснювати спостереження, кожна країна визначає самостійно. Подібний підхід до організації системи спостереження за станом атмосферного повітря застосовують у країнах СНД і в Україні.

Закон України „Про охорону атмосферного повітря” (1992 р.) значно розширив функції служб спостереження та контролю за забрудненням атмосфери, які в своїй практиці використовують розрахункові та експериментальні методи. На основі теоретичних та експериментальних досліджень поширення домішок в атмосфері вироблено основні принципи організації мережі спостережень, лабораторного (хімічного) аналізу проб повітря, збирання, оброблення та узагальнення інформації про

забруднення.

Інформацію про вміст забруднювальних речовин в повітрі надає мережа служби моніторингу. Відповідальність за її організацію покладена на Держкомгідромет України.

Організація спостережень передбачає контроль за поширенням шкідливих домішок як в самій атмосфері, так і між елементами системи „атмосфера – гідросфера – літосфера – біосфера”. Для цієї діяльності необхідні:

- відомості про наявні та перспективні джерела забруднення атмосфери (з урахуванням розвитку економічних районів);
- характеристика забруднювальних речовин (токсичність, здатність вступати в хімічні реакції з іншими речовинами, здатність до самоочищення);
- гідрометеорологічні дані;
- результати попередніх спостережень за забрудненням атмосфери (експедиційні дослідження);
- дані про рівні забруднення навколишнього природного середовища в сусідніх країнах;
- відомості про транскордонне перенесення шкідливих домішок.

Комплекс завдань, пов'язаних зі збиранням цієї інформації, виконує спеціальна служба спостережень, яку формують система спостережень і система контролю.

Система спостережень забезпечує спостереження за якістю атмосферного повітря в містах, населених пунктах і територіях, розміщених поза зоною впливу конкретних джерел забруднення. Спостереження здійснюють служби Держкомітету гідрометеорології, які надають дані про метеорологічні умови і концентрацію шкідливих речовин. Міністерство охорони здоров'я проводить вибіркові спостереження за рівнем забруднення в місцях проживання населення. Науковий комітет Національної академії наук України організовує авіаційно-космічні спостереження за станом озонового шару і глобальним забрудненням атмосфери. Практикуються екологічні спостереження за окремими підприємствами.

Система контролю здійснює спостереження і контроль за джерелами забруднення, викидами шкідливих речовин в атмосферу. З цією метою Міністерство екології та природних ресурсів організовує спостереження за джерелами промислових викидів в атмосферу та дотриманням норм гранично допустимих викидів, контролює реалізацію заходів з охорони атмосферного повітря, дотримання відповідних вимог при розміщенні, проектуванні, будівництві та введенні в експлуатацію нових підприємств.

При організації спостережень за станом повітря використовують попередні дослідження, які передбачають обстеження території

(метеорологічні умови, вміст забруднювачів) за допомогою пересувних лабораторій, що здійснюють відбір та аналіз проб з метою вивчення розміщення діючих джерел забруднення та перспектив розвитку промисловості.

Після з'ясування наявного та перспективного рівнів забруднення атмосферного повітря оцінюють зміни концентрацій домішок у просторі й часі, розробляють схему розміщення постійних (стаціонарних) постів спостереження на території міста, програми їх роботи. Пост спостережень може надавати інформацію про загальний стан повітряного басейну (якщо він знаходиться поза зоною впливу окремих джерел викидів) і контролювати джерела викидів (якщо він перебуває в зоні впливу джерел викидів). При їх розміщенні пріоритетними є житлові райони з найбільшою щільністю населення, де можливе перевищення встановлених порогових значень гігієнічних показників (ГДК). Робота постів спостережень повинна відповідати таким умовам:

- обов'язковість відображення загального стану повітряного басейну і контроль за джерелами викиду;
- необхідність здійснення спостережень за всіма домішками, концентрації яких перевищують ГДК;
- обов'язковість визначення пилу, діоксиду сірки, оксиду вуглецю та оксидів азоту.

Контроль за радіоактивним забрудненням атмосферного повітря здійснюється на фоновому рівні, а також у зонах впливу атомних електростанцій та інших джерел можливих викидів радіоактивних речовин. Під час контролю за радіоактивним забрудненням на фоновому рівні використовують фонові станції або спеціальні станції, встановлені на відстані 50...100 км від можливого джерела радіоактивного забруднення. Для моніторингу в радіусі до 25 км використовують мережу контролю і спеціальні пости спостережень, де встановлюють датчики гамма-випромінювання та пристрої для відбору проб і аналізу повітря. У межах санітарно-захисної зони (СЗЗ) утворюють пости дистанційного контролю радіоактивного забруднення атмосферного повітря.

Моніторинг забруднення території на основі снігомірної зйомки (спостереження за забрудненням снігового покриву) забезпечує контроль за рівнем забруднення атмосферного повітря в чистих (фонових) районах, містах та інших населених пунктах. Важливими методами контролювання транскордонного перенесення глобальних потоків домішок на великі відстані від місця викиду є система наземних та авіаційних станцій, а також математичні моделі поширення забруднювальних речовин в повітрі. Мережа станцій транскордонного перенесення обладнана системами відбору газу та аерозолів, збору сухих осідань і опадів, аналізу вмісту домішок у відібраних пробах. Інформація надходить у Західно- та Східноєвропейський метеорологічні синтезувальні центри. За ступенем

оперативності її поділяють на такі види:

– *екстрена інформація* – містить відомості про різкі зміни рівнів забруднення атмосферного повітря, негайно передається в контролювальні та господарські організації;

– *оперативна інформація* – містить узагальнені результати спостережень за місяць;

– *режимна інформація* – містить дані про середній та найбільший рівні забруднення повітря протягом тривалого часу (як правило, за рік); використовується при плануванні заходів, оцінюванні збитків, завданих народному господарству внаслідок забруднення атмосферного повітря.

Для забезпечення ефективності заходів з охорони повітря інформація повинна бути повною і достовірною. Повноту інформації забезпечують достатня кількість контрольованих інгредієнтів, тривалий термін спостережень, раціональне розміщення мережі. Достовірність інформації досягається неухильним дотриманням нормативних вимог. Значною мірою достовірність залежить від однорідності інформації. Оцінювання забруднення атмосферного повітря в містах України здійснюють за даними спостережень, які проводять у 54 містах на 166 стаціонарних постах та на 2 станціях транскордонного переносу. Раціонально організована система спостережень та контролю за станом атмосферного повітря дає змогу отримати необхідну інформацію про якісний склад повітря в населених пунктах і зонах впливу джерел викидів, про транскордонні перенесення забруднювальних речовин, виявити території, для яких характерні перевищення ГДК забруднювальних речовин. Наявність достовірних і комплексних даних спостережень є необхідною передумовою для розроблення рекомендацій щодо поліпшення стану атмосфери.

11.6.1 Види постів спостережень

Діюча в Україні мережа спостережень за забрудненням атмосферного повітря охоплює пости ручного відбору проб повітря й автоматизовані системи спостережень та контролю оточуючого середовища (АСКОС). Пости спостережень за забрудненнями можуть бути стаціонарними, маршрутними та пересувними (підфакельними). З постів ручного відбору проби для аналізу передають в хімічні лабораторії. Стаціонарні АСКОС обладнані пристроями для безперервного відбирання та аналізування проб повітря в заданому режимі й передавання інформації каналами зв'язку в центр управління.

Стаціонарний пост спостереження призначений для регулярного відбору проб повітря з метою подальшого лабораторного аналізу, безперервного реєстрування вмісту забруднювальних речовин автоматичними газоаналізаторами. Мережа стаціонарних постів обладнана приміщеннями типу „ПОСТ” – утепленими дюралевими павільйонами, в яких встановлені комплекти приладів та обладнання для відбору проб

повітря і вимірювання метеорологічних параметрів: температури, вологості, швидкості та напрямку вітру. Діючі типи павільйонів „ПОСТ-1”, „ПОСТ-2”, „ПОСТ-2а” відрізняються продуктивністю та ступенем автоматизації. Найпоширенішими є лабораторії типу „Пост-2”.

Лабораторію комплектну типу „ПОСТ-2” використовують для стаціонарних спостережень за рівнем забруднення атмосферного повітря, а також для з'ясування метеорологічних характеристик. Вона забезпечує автоматичне вимірювання та фіксування на діаграмній стрічці концентрацій оксиду вуглецю і діоксиду сірки; автоматичний відбір тридцяти трьох проб повітря для визначення п'яти газоподібних домішок, сажі та пилу; ручний відбір п'яти проб повітря на вміст газоподібних домішок, сажі і пилу; автоматичне вимірювання і реєстрацію напрямку та швидкості вітру, температури (-50...+50°C), вологості атмосферного повітря (0...100 %); контроль за температурою, вологістю і тиском атмосферного повітря за допомогою переносних приладів.

Комплект її технічних засобів містить:

- металевий каркас (павільйон) із зовнішніми та внутрішніми допоміжними пристроями;
- прилади автоматичного контролю концентрацій забруднювальних речовин: газоаналізатори типу ГМК-3 (для визначення оксиду вуглецю) і типу ГКП-1 (для діоксиду сірки);
- групу приладів для автоматичного та ручного відбору проб повітря на вміст газоподібних домішок, сажі та пилу: електроаспіратори типу ЕА-1, ЕА-2, ЕА-2С і автоматичний повітрязабирач „Компонент”;
- групу приладів для автоматичного і ручного контролю метеопараметрів: анеморумбограф типу М63МР, датчики температури і вологості.

Лабораторію „ПОСТ-2” обслуговує оператор, який реєструє значення температури, вологості, тиску. Вона може працювати в безперервному режимі або з перервами при півгодинному обслуговуванні оператором 2...4 рази на добу, одночасно контролюючи вміст у повітрі двох забруднювальних речовин. За одне обслуговування забезпечується одночасний відбір тридцяти восьми проб (за автоматичного відбору – 33, ручного – 5 проб). „ПОСТ-2” контролює сім метеопараметрів (4 – при автоматичному вимірюванні з реєстрацією, 3 – при візуальному). Продуктивність лабораторії за чотириразового обслуговування протягом доби становить 50 тис. проб/год., середній термін служби – 10 років.

Серед стаціонарних постів виокремлюють опорні стаціонарні пости, призначені для виявлення довготривалих змін вмісту основних або найпоширеніших забруднювальних речовин, та неопорні стаціонарні пости, призначені для спостережень за спеціальними, характерними для контрольованої місцевості, шкідливими речовинами.

Кількість стаціонарних постів визначають залежно від чисельності

населення (табл. 11.1), рельєфу місцевості, особливостей промисловості, змін концентрацій забруднювальних речовин.

Стаціонарні пости спостережень можуть встановлюватись в житловій, промисловій, змішаній зонах та біля автомагістралей.

Таблиця 11.1 – Визначення кількості стаціонарних постів

Чисельність населення, тис. осіб.	менше 50	50 – 100	100 – 200	200 – 500	500 – 1000	1000 – 2000	більше 2000
Кількість постів, шт.	1	2	3	3-5	5-10	10-15	15-20

Маршрутний пост спостереження призначений для регулярного відбору проб повітря у фіксованих точках місцевості за допомогою спеціально обладнаної автолабораторії. Маршрут щомісячно змінюється з таким розрахунком, щоб відбір проб повітря у кожному пункті проводився в різний час доби. Наприклад, протягом першого місяця машина об'їжджає пости в порядку зростання номерів, другого – в порядку їх спадання, третього – з середини маршруту до кінця і з початку до середини. Розміщення маршрутних постів повинно бути таким, щоб виявляти максимальні концентрації забруднювальних речовин, які формуються джерелом викиду. Визначаючи місця відбору проб, приймають до уваги висоту джерела викиду (H) і максимально можливу зону забруднення ним атмосферного повітря (R), яка дорівнює 20H. Складають схему, центром якої є джерело викиду, навколо якого будують кола з радіусами 0,5R; 1R; 1,5R. У точках перетину кіл з проведеними з центра лініями, що позначають сторони світу, відбирають проби повітря.

Підфакельний (пересувний) пост спостереження використовується для відбору проб під димовим факелом з метою виявлення зони його впливу. Ці місця обирають з урахуванням закономірностей поширення забруднювальних речовин в атмосфері. Проби відбирають за переважним напрямком вітру на відстанях: 0,2; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 15; 20 км від джерела забруднення. Допоміжні точки встановлюють у зоні формування максимальної концентрації, на межі санітарної захисної зони (СЗЗ), на відстані СЗЗ + 200 м. На кожному колі з обох сторін від осі факелу на відстані 1/25 R встановлюють ще по два пости. У зоні максимального забруднення відбирають не менше 60 проб повітря, а в інших зонах – до 25 на висоті 1,5 м від поверхні землі протягом 20...30 хв не менше ніж у трьох точках одночасно.

11.6.2 Програми та терміни спостережень

Залежно від виду постів спостережень та їх завдань визначають програми і терміни спостережень. На стаціонарних постах спостереження за забрудненням атмосферного повітря та метеорологічними параметрами проводять протягом року незалежно від погодних умов. Вони можуть працювати за повною, неповною або скороченою програмами спостережень.

За *повною програмою* спостереження проводять щоденно (неділя – вихідний, субота – чергується) о 1, 7, 13 та 19 год за місцевим часом або інколи використовують зміщений графік. Спостереження за цією програмою передбачають вимірювання вмісту в повітрі пилу, діоксиду сірки, оксиду вуглецю та оксидів азоту, а також тих речовин, концентрації яких перевищують ГДК.

За *неповною програмою* спостереження проводять щоденно (субота і неділя чергуються) о 7, 13 та 19 год. У районах, де температура повітря нижча -45°C , спостереження проводять за скороченою програмою щоденно, крім неділі, о 7 та 13 год за місцевим часом.

Спостереження за *скороченою програмою* проводять у місцях, де середньомісячні концентрації менші за $1/20$ ГДК(максимально разових).

Усі програми спостережень обов'язково охоплюють спостереження за метеорологічними параметрами. За несприятливих погодних умов відбір проб повітря на всіх постах повинен проводитись через кожні 3 год.

Визначення концентрацій на маршрутних постах проводять за годинним графіком.

Діюча мережа спостережень за станом атмосферного повітря, сформована зі стаціонарних, маршрутних та підфакельних постів дає змогу контролювати забруднення повітря в населених пунктах, виявляти вплив джерел забруднення на певні території та викиди стаціонарних джерел забруднення. За сприяння системи постів встановлюють динаміку забруднення атмосфери, виявляють території, де зростає вміст забруднювальних речовин у повітрі, визначають небезпечні джерела викидів.

11.6.3 Автоматизовані системи спостереження і контролю за атмосферним повітрям

Автоматизовані системи спостереження і контролю атмосферного повітря (АСКНС-АГ) або (АНКОС-АГ) призначені для постійного контролю за змінними у часі та просторі характеристиками забруднення і метеорологічними параметрами повітряного простору. Залежно від характеру та об'єму робіт їх поділяють на такі типи:

– *промислові системи*. Вони контролюють викиди промислових підприємств, ступінь забруднення промислових майданчиків і прилеглих до них територій. Оснащені датчиками для фіксування характерних

інгредієнтів викидів підприємств, а також метеодатчиками, які розміщують з урахуванням шкідливості викидів, рози вітрів, особливостей розміщення житлових масивів. Такі системи, як правило, функціонують у структурі підприємств;

– *міські системи*. Їх призначено для контролювання рівня забруднення повітря міста викидами підприємств, транспорту, для вимірювання метеопараметрів. Завдяки їх функціонуванню встановлюють розмір забруднення територій з урахуванням сезону року і кліматичних факторів, параметри і частку кожного джерела забруднення, прогнозують небезпечність ситуації. Системи формуються з двох рівнів. На *I рівні* здійснюють вимірювання концентрацій забруднювальних речовин і деяких метеопараметрів, перетворення виміряних значень фізичних величин, реєстрацію цих значень на машинних носіях, формування повідомлень і збереження інформації. На цьому рівні типові автоматичні станції визначають основні забруднювачі: CO – оксид вуглецю (0...160 мг/м³); SO₂ – діоксиду сірки (0...5 мг/м³); NO₂, NO та суму оксидів азоту (0...7,5 мг/м³); суму вуглеводнів за винятком метану (0...45 мг/м³); O₃ – озон (0...0,15 мг/м³); метеопараметри: швидкість, напрямок вітру, температуру повітря. Завершується перший рівень переданням даних в центр оброблення інформації.

На *II рівень* інформація надходить від пересувних постів, стаціонарних газоаналітичних лабораторій. На цьому рівні обробляють результати, прогнозують небезпечні ситуації, розраховують необхідні результати і передають споживачам.

Міська система автоматичного спостереження і центр оброблення даних забезпечують систематичне вимірювання заданих параметрів, автоматичне збирання інформації з автоматизованих станцій, збирання інформації від неавтоматизованих ланок спостереження, оперативне оцінювання ситуації, короткостроковий прогноз.

Аналіз даних про концентрацію домішок триває не менше 20...30 хв, що відповідає терміну відбору проб в поглинальні прилади. Видавання автоматизованою системою інформації може тривати від кількох хвилин до кількох годин.

У міську систему включені промислові автоматизовані підсистеми:

– *регіональні системи*. Переважно вони не мають своїх контрольно-змірювальних станцій, а отримують інформацію з міських і промислових систем. Призначені для статистичного оброблення і аналізу даних про забруднення навколишнього природного середовища на значних територіях, на базі яких проводять дослідження та прогнозування, розробляють науково обґрунтовані рекомендації щодо його охорони;

– *загальнодержавні системи*. Вони отримують відомості про забруднення та стан атмосферного повітря від регіональних систем, супутників Землі та космічних орбітальних станцій;

– *глобальні системи*. Їх використовують для досліджень атмосферних змін на основі міжнародних спостережень.

Автоматизовані системи спостереження і контролювання атмосферного повітря різних типів обов'язково оснащені автоматичними системами відбору проб та приладами автоматичного визначення забруднювальних речовин (газоаналізаторами).

11.7 Екологічне нормування якості атмосферного повітря

З метою обмеження і контролювання антропогенних впливів на навколишнє середовище запроваджують *екологічне нормування* – комплекс заходів для встановлення граничних меж, в яких можуть коливатися параметри показників, які характеризують стан природного середовища. Екологічному нормуванню підлягають усі небезпечні речовини. До них належать речовини, що надходять до навколишнього середовища як продукти чи супутні утворення людської діяльності й становлять пряму чи опосередковану загрозу суспільству або довікільно загалом, знешкодження яких у поточний момент часу може бути здійснено тільки завдяки значним техніко-економічним та організаційним витратам.

Кількісну оцінку вмісту речовин в атмосфері позначають поняттям „*концентрація*” – кількість речовини, яка міститься в одиниці об'єму повітря, зведеного до нормальних умов.

Якість атмосферного повітря – сукупність властивостей повітря, яка визначає ступінь впливу фізичних, хімічних і біологічних факторів на людей, рослинний та тваринний світ, а також на матеріали, конструкції і довікільно загалом.

Оцінюють рівень забруднення середовища та його якість, використовуючи показники гранично допустимих концентрацій.

За прямої дії забрудника людина відчуває загальне погіршення стану, яке виражається різними симптомами. Накопичення в організмі шкідливих речовин понад визначену дозу може спричинити патологічні зміни окремих органів або організму в цілому. Опосередковано впливають такі зміни й на довікільно: вони не діють на живі організми, але погіршують звичні умови життєдіяльності (пошкоджують зелені насадження, збільшують кількість туманних днів тощо).

Отже, основним критерієм встановлення нормативів ГДК для оцінювання якості атмосферного повітря є обсяг і особливості дії наявних у повітрі забруднювальних речовин на організм людини. Для визначення якості атмосферного повітря користуються двома ГДК – максимальною разовою (ГДК_{м.р.}) і середньодобовою ($\tilde{G}_{\text{н.д.}}$).

Максимально разова гранично допустима концентрація (ГДК_{м.р.}) – основна характеристика небезпечності шкідливої речовини, яка

встановлюється для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світлової чутливості, біоелектричної активності головного мозку) при короткотривалому впливі атмосферних домішок.

Максимально разові ГДК застосовують при оцінюванні умов праці у забруднених приміщеннях.

Середньодобова гранично допустима концентрація ($\hat{C}_{C.A.}$) – характеристика небезпечності шкідливої речовини, встановлена для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного та інших впливів речовин на організм людини. Речовини, які оцінюють за цим нормативом, здатні тимчасово або постійно накопичуватися в організмі людини. ГДК_{м.р.} встановлюють для промислових підприємств, а $\hat{C}_{C.A.}$ – для зон житлової забудови. Різниця між цими показниками зумовлена тим, що на підприємствах до роботи допускають, як правило, здорових людей, які пройшли медичний огляд і стійкіші до дії на організм шкідливих речовин. Отже, ГДК_{м.р.} більші, ніж $\hat{C}_{C.A.}$. На основі ГДК інженерні служби розраховують розміри гранично допустимих викидів (ГДВ) речовин в атмосферу. Зазвичай у різних країнах використовують два показники: ГДК та гранично допустиме екологічне навантаження (ГДЕН) на природні об'єкти. Санітарно-гігієнічне оцінювання якості атмосферного повітря здійснюють, дотримуючись таких необхідних вимог:

– допустимою може бути тільки така концентрація, яка не спричиняє прямої, побічної шкідливої або неприємної дії на людський організм, не знижує працездатності, не впливає на настрій, забезпечує фізіологічний оптимум життя;

– звикання до шкідливих речовин є неприйнятним, і концентрація, яка може його викликати, не допускається;

– недопустимі такі концентрації шкідливих речовин, які негативно впливають на рослини, клімат, прозорість атмосфери.

В Україні запроваджуються заходи, спрямовані на попередження забруднення атмосферного повітря та зниження вмісту шкідливих домішок, а саме:

– поліпшення наявних та впровадження нових технологічних процесів, які виключають поширення шкідливих речовин;

– поліпшення складу палива, апаратів карбюрації та зменшення надходження викидів в атмосферу за допомогою очисних споруд;

– запобігання забрудненню атмосфери за допомогою раціонального розміщення ймовірних джерел шкідливих викидів та розширення площ зелених насаджень.

Комплексне застосування цих заходів сприяє поліпшенню стану атмосферного повітря над містами. За чистотою повітря та його змінами постійно стежать органи санітарного контролю санітарно-епідеміологічної служби Міністерства охорони здоров'я України.

Контрольні запитання

1. Наведіть означення, сутність та цілі моніторингу довкілля.
2. Охарактеризуйте підсистеми моніторингу довкілля.
3. Наведіть класифікацію принципів державного моніторингу навколишнього природного середовища України.
4. Опишіть структуру та рівні державного моніторингу навколишнього природного середовища України.
5. Розкажіть про організацію роботи державного моніторингу навколишнього природного середовища України.
6. Проаналізуйте основні вимоги до організації спостережень за забрудненням атмосферного повітря.
7. Опишіть методи спостережень за рівнем забруднення атмосферного повітря.
8. Охарактеризуйте особливості контролю за рівнем забруднення атмосферного повітря.
9. Розкажіть про особливості стаціонарних, маршрутних та підфакельних постів спостережень.
10. Проаналізуйте спільні та відмінні ознаки програм спостережень на стаціонарних, маршрутних та підфакельних постах спостережень.
11. Охарактеризуйте лабораторні, експресні, автоматичні методи оцінювання забруднення атмосферного повітря.
12. Наведіть класифікацію автоматизованих систем спостереження і контролювання атмосферного повітря.
13. Обґрунтуйте необхідність і важливість екологічного нормування якості атмосферного повітря.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абсорбция и пылеулавливание в производстве минеральных удобрений. Под ред. Мухленова И. П. – М. : „Химия”, 1987. – 206 с.
2. Аксенов И. Н. Транспорт и охрана окружающей среды / И. Н. Аксенов, В. И. Аксенов. – М. : Транспорт, 1986. – 176 с.
3. Алабовский А. Н. Газоснабжение и очистка промышленных газов / Алабовский А. Н., Анцев Б. В., Романовский С. А.. – К. : Вища школа, 1985. – 190 с.
4. Апостолук С. О. Промислова екологія: Навчальний посібник. / Апостолук С. О., Джигирей В. С., Апостолук А. С.. – К. : Знання, 2005. – 474 с.
5. Балабеков О. С. Очистка газов в химической промышленности. / О. С. Балабеков, Л. Ш. Балтабаев – М. : Химия, 1991. – 252 с.
6. Природоохранная работа на промышленном предприятии. / О. Ф. Балацкий, А. Ю. Жулавский, Н. И. Малышко, В. Н. Скомороха. – К. : „Техніка”, 1986. – 132 с.
7. Вальдберг А. Ю. Технология пылеулавливания. / Вальдберг А. Ю. – Л. : „Машиностроение”, 1985. – 192 с.
8. Величко О. М. Екологічний моніторинг: Навчальний посібник. / О. М. Величко, Д. В. Зеркалов – К. : Науковий світ, 2001. – 205 с.
9. Владимиров А. М. Охрана окружающей среды. / Владимиров А. М. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 423 с.
10. Власенко В. М. Каталитическая очистка газов. / Власенко В. М. – К. : Техніка, 1973. – 200 с.
11. Войцицький А. П. Екологічна стандартизація та нормування антропогенного навантаження на природне середовище: теоретичні основи і розрахунковий практикум: навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Войцицький А. П., Рибак М. Ф., Шваб С. Б.. – Житомир : Видавництво ЖДУ ім. І. Франка, 2009. – 260 с.
12. Газоочистные и пылеулавливающие установки: Каталог. – М. : ЦНИИ „Электроника”, 1990. – 48 с.
13. Голубев И. Р. Окружающая среда и транспорт. / И. Р. Голубев, Ю. В. Новиков – М. : Транспорт, 1987. – 207 с.
14. Екологія та автомобільний транспорт: навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / [Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г., та ін.]. – [2-ге вид., переробл. та доп.]. – К. : Арістей, 2008. – 296 с.
15. Деньгуб В. М. Единицы величин: словарь-справочник. / В. М. Деньгуб, В. Г. Смирнов – М. : Изд. стандартов, 1990. – 240 с.
16. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посібник. / Джигирей В. С. – [5-те вид., випр. і доп.] – К. : Знання, 2007. – 422 с.

17. Жабо В. В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. / Жабо В. В. – М. : Энергоатомиздат, 1992 – 240 с.
18. Зубик С. В. Техноэкология. Джерела забруднення і захист навколишнього середовища: навч. посібник. / Зубик С. В. – Львів: Орієна-Нова, 2007. – 400 с.
19. Клименко М. О. Мониторинг доквілля. Підручник. / Клименко М. О., Прищепа А. М., Вознюк Н. М.. – К. : ВЦ „Академія”, 2006. – 360 с.
20. Кузнецов И. Е. Оборудование для санитарной очистки газов: справочник. / Кузнецов И. Е., Шмат К. И., Кузнецов С. И.. – К. : „Техніка”, 1989. – 204 с.
21. Кузнецов Ю. М. Охрана труда на автотранспортных предприятиях. / Кузнецов Ю. М. – М. : Транспорт, 1990. – 288 с.
22. Кузьмичев В. Е. Законы и формулы физики: справочник. / Кузьмичев В. Е. – К. : Наукова думка, 1989. – 862 с.
23. Лапшин А. Б. Обеспыливание в производстве гипса. / Лапшин А. Б. – К. : Будівельник, 1990. – 116 с.
24. Луканин В. Н. Промышленно-транспортная экология: учебник для вузов. / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко. – М. : Высшая школа, 2003. – 273 с.
25. Мазус М. Г. Фильтры для улавливания промышленных пылей. / Мазус М. Г. – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.
26. Методические указания по расчету выброса вредных веществ автомобильным транспортом. – М. : Гидрометеиздат, 1983. – 24 с.
27. Ратушняк Г. С. Засоби очищення газових викидів: навчальний посібник. / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 207 с.
28. Рихтер Л. А. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций. / Рихтер Л. А., Елизаров Д. П., Лавыгин В. М. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 215 с.
29. Саломатов В. В. Природоохранные технологии на ТЭС и АЭС: учеб. пособие / Саломатов В. В. – Новосибирск : Издательство НГТУ, 2000. – 172 с.
30. Скоробогатий Я. П. Основи екології: навколишнє середовище і техногенний вплив. / [Скоробогатий Я. П., Ощиповський В. В., Василечко В. О., Кусковець С. Л.]. – Л. : Новий Світ-2000, 2008. – 222 с.
31. Борук С. Д. Природоохоронні технології: лабораторний практикум / Чернівецький національний ун-т ім. Юрія Федьковича / Борук С. Д. [уклад.]. – Чернівці : Рута, 2004. – 34 с.
32. Семенова О. І. Природоохоронні технології: метод. вказівки до виконання лаб. робіт для студ. спец. 7.070801 "Екологія та охорона навколишнього середовища" (спеціал. "Екологія харчової промисловості") напряму 0708 "Екологія" денної форми навчання /

- Національний ун-т харчових технологій / Семенова О. І. (уклад.). – К. : НУХТ, 2005. – 39 с.
33. Скіп Б. В. Природоохоронна практика: Метод. рек. / Чернівецький національний ун-т ім. Юрія Федьковича / Скіп Б. В. (уклад.). – Чернівці : Рута, 2005. – 31 с.
34. Тищенко Н. Ф. Охрана атмосферного воздуха: справочник. / Тищенко Н. Ф. – М. : Химия, 1991. – 362 с.
35. Шматько В. Г. Екологія і організація природоохоронної діяльності: навч. посіб. для студ. ВНЗ. – [2-ге вид., стер.] / В. Г. Шматько, Ю. В. Нікітін – К. : КНТ, 2008. – 303 с.
36. Ужов В. Н. Очистка промышленных газов от пыли. / Ужов В. Н. – М.: Химия, 1991.- 390 с.
37. Хоботова Е. Б. Основи екологічної токсикології: тестові завдання до контролю знань студ. напряму "Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: навч.-метод. посібник / Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. / Е. Б. Хоботова, М. І. Уханьова – Х. : ХНАДУ, 2008. – 68 с.
38. Хоменко О. М. Екологія та охорона навколишнього середовища: посіб. до викон. випускної кваліфік. роботи бакалавра / Черкаський держ. технологічний ун-т. / Хоменко О. М., Свояк Н. І., Яшук Л. Б. – Черкаси : ЧДТУ, 2008. – 192 с.
39. Федоренко О. І. Основи екології : підручник. / Федоренко О. І., Бондар О. І., Кудін А. В. – К. : Знання, 2006. – 543 с.
40. Федоряк М. М. Основи екології: навч. посібник / Чернівецький національний ун-т ім. Юрія Федьковича. / М. М. Федоряк, Г. Г. Москалик – Чернівці : ЧНУ, 2009. – 336 с.
41. Природоохоронна практика: Метод. рек. / Чернівецький національний ун-т ім. Юрія Федьковича / Б. В. Скіп (уклад.). – Чернівці : Рута, 2005. – 31 с.
42. Хомяков В. І. Управління природоохоронною діяльністю в регіоні: організаційні та економічні інструменти / Черкаський держ. технологічний ун-т. / Хомяков В. І., Ткаченко А. П., Ткаченко Є. А. – Черкаси, 2003. – 175 с.
43. Методичні рекомендації до практичних занять з навчальної дисципліни "Промислова екологія, технологія основних виробництв та природоохоронних технологій" для студентів спеціалізації "Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг" денної форми навчання / Харківський національний економічний ун-т / Орехов В. М. (уклад.). – Х. : ХНЕУ, 2008. – 64 с.
44. Воронова Є. Екологія в природоохоронній діяльності: навч.-метод. посіб. для студ. спец. напрямку "Екологія" / Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. / Воронова Є. – Х. : ХНАДУ, 2007. – 124 с.

45. Дослідження і випробування по прикладній екології: Навч. посібник для студ. машино-приладобуд. спец. техн. ун-тів і ін-тів: У 3 частинах. Ч.1. Моніторинг і захист атмосфери в надзвичайних і стандартних ситуаціях. / [Карпенко В. А., Торовець А. Г., Лук'янчук О. Г. та ін.]. – К. : СевНТУ, 2001 – 422 с.
46. Андрийчук Н Д. Моделирование процессов диффузии техногенных загрязнений в атмосфере. / Андрийчук Н Д., Гусенцова Я. А., Адамчо Я. В. – Луганск : Издательство Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, 2004. – 60 с.
47. Росляков П. В. Технологические мероприятия по снижению вредных выбросов ТЭС в атмосферу: Учеб. пособие по курсу "Методы защиты окружающей среды" для студ., обуч. по спец. "Котло- и реакторостроение" / Московский энергетический ин-т (Технический ун-т). / Росляков П. В., Егорова Л. Е., Ионкин И. Л. – М. : Издательство МЭИ, 2001. – 51с.
48. Кильметова Ф. Ш. Охрана атмосферного воздуха: Учеб. пособие / Башкирский гос. ун-т. / Кильметова Ф. Ш. – Уфа : Издательство Башкирского гос. ун-та, 2001. – 89 с.
49. ГОСТ 12.1.016-79. ССБТ. Повітря робочої зони. Вимоги до методик вимірювання концентрацій шкідливих речовин.
50. ГОСТ 25199-82 (СТ СЭВ 2145-80). Оборудование пылеулавливающее. Термины и определения.
51. ГОСТ 25631-83 (СТ СЭВ 3255-81), ГОСТ 25632-83 (СТ СЭВ 3252-81). Пылеуловители мокрые. Типы и основные параметры. Технические требования.
52. ГОСТ 25747-83 (СТ СЭВ 3256-81). Фильтры рукавные и карманные. Типы и основные параметры.
53. ГОСТ 25757-83 (СТ СЭВ 3257-81). Пылеуловители инерционные сухие. Типы и основные параметры.
54. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
55. ГОСТ 17.0.004-90. Охрана природы. Экологический паспорт предприятия. Основные положения.
56. Справочник по пыле- и золоулавливанию. Под общей редакцией Русанова А. А. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
57. Справочник. Средства защиты в машиностроении. Под ред. С. В. Белова – М. : Машиностроение, 1985. – 448 с.
58. Справочник. Безопасность производственных процессов. Под ред. Белова С. В. – М. : Машиностроение, 1985. – 448 с.
59. Страус В.Н. Промышленная очистка газов. Перевод с английского Ю. В. Косого. – М. : Химия, 1981. – 616 с.
60. СНиП 2.04.05-86. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М. : 1986. – 110 с.

ГЛОСАРІЙ

АБСОРБЦІЯ (*absorption*) – процес поглинання твердими тілами і рідинами речовин із розчину або газової суміші.

АДСОРБЦІЯ (*adsorption*) – процес поглинання речовин із газоподібного середовища або розчину поверхневим шаром рідини чи твердого тіла (адсорбента); здатність речовин притягувати і закріплювати на поверхні своїх частинок молекули газів парів та розчинних речовин.

АЕРАЦІЯ (*aeration*) – природне або штучне надходження повітря в яке-небудь середовище (грунт, воду тощо).

АЕРОЗОЛІ (*aerosol*) – завислі в газоподібному середовищі частинки твердих або рідких речовин (радіус твердих частинок $10^{-8} \dots 10^{-2}$ см, крапель – $10^{-5} \dots 10^{-1}$ см).

АНАЛІЗАТОР (*analyzer*) – прилад для визначення фізико-хімічних властивостей, вмісту і структури твердих, рідких та газоподібних речовин.

АНЕМОМЕТР (*anemometer*) – прилад для визначення швидкості або сили вітру, газових і рідинних потоків за тиском на рухому частину (анемометричну вертушку) або манометричним способом (за різницею динамічного й статичного тиску вітрового потоку).

АНТРОПОГЕННІ ФАКТОРИ (*anthropogenic factors*) – форми господарської діяльності людини, що впливають на організми або екосистеми, природне середовище загалом.

АТМОСФЕРА (*atmosphere*) – повітряна оболонка Землі. Простежується до висоти 2 тис. км, її поділяють на: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу, екзосферу. Сучасна атмосфера значною мірою продукт біогенного походження.

БІОСФЕРА (*biosphere*) – оболонка Землі, зайнята сукупністю живих організмів. Це організована життєдіяльність організмів; земна оболонка, у формуванні компонентів якої живі організми відіграють першорядну роль. Вона включає нижню частину атмосфери, всю гідросферу і верхню частину літосфери.

ВІДНОВЛЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (*environment reproduction*) – комплекс заходів і їх наукове забезпечення, спрямований на підтримання параметрів середовища існування в межах сприятливих для існування людського суспільства.

ВИВІТРЮВАННЯ (*weathering*) – руйнування матеріалів (мінералів і гірських порід) під впливом фізичних, хімічних і біогенних факторів. Розрізняють фізичне, хімічне і органічне вивітрювання.

ВИКИДИ (*emission*) – короткочасне або довготривале (протягом певного часу) надходження в навколишнє середовище будь-яких забруднювачів.

ВИКИД ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИЙ (*safelimit emission*) – об'єм (кількість) шкідливої речовини за одиницю часу, перевищення якого

призводить до погіршення навколишнього середовища або загрожує здоров'ю людини.

ГЕОСИСТЕМА (*geosystem*) – матеріальна система взаємообумовлених природних компонентів, взаємозв'язаних в своєму розташуванні й розвитку.

ДЕГРАДАЦІЯ СЕРЕДОВИЩА (*degradation*) – погіршення природних умов і соціального середовища життя людини.

ДОЩ КИСЛОТНИЙ (*acid rain*) – дощ (сніг), підкислений (РН нижче 5,6) за рахунок з'єднання атмосферної вологи з промисловими викидами оксидів (CO_x, MO_x, SO_x), хлоридів.

„ДІРА” ОЗОНОВА (*ozone hole*) – простір в озоносфері планети з пониженим (50 %) вмістом озону (середні темпи розширення – 4 % протягом року).

ЕКОЛОГІЯ (*ecology*) – синтетична біологічна наука про взаємовідносини між живими організмами і середовищем їх існування.

ЕКОСИСТЕМА (*ecosystem*) – будь-яке угруповання живих організмів і їх середовище існування, об'єднане в єдине функціональне ціле на основі взаємозалежності між його складовими (акваріум, космічний корабель). Термін введений англійським вченим А. Тенслі.

ЕКРАН ОЗОНОВИЙ (*ozone layer*) – шар атмосфери (стратосфери), в межах якого концентрація молекул озону (O₃) в 10 разів вища, ніж біля поверхні Землі. Е. о. поглинає ультрафіолетове випромінювання, небезпечне для живих організмів.

ЕКСПЕРТИЗА ЕКОЛОГІЧНА (*ecological assessment*) – оцінювання впливу на середовище життя, природні ресурси і здоров'я людей комплексу господарських нововведень. Базується на екологічних нормативах. Виражається як в економічних, так і в неекономічних показниках.

ЕФЕКТ ПАРНИКОВИЙ (*greenhouse effect*) – поступове потепління клімату внаслідок накопичення в атмосфері діоксиду вуглецю антропогенного походження, який пропускає сонячні промені, перешкоджаючи тепловому випромінюванню з поверхні Землі.

ЗАБРУДНЕННЯ (*pollution*) – привнесення в природно-антропогенне середовище, виникнення в ньому нових, нехарактерних для середовища фізичних, хімічних, біологічних речовин, агентів, які негативно впливають на людину і живі організми.

ЗАМКНУТІСТЬ СИСТЕМИ (*system closure*) – повна реутилізація речовин в межах системи з практичною відсутністю їх виходу за межі системи (за виключенням енергії й інформації).

ЗАХИСТ СЕРЕДОВИЩА (*environment protection*) – комплекс міжнародних, державних, регіональних і локальних адміністративних, правових, технологічних, планових, соціально-економічних, політичних і

суспільних заходів, спрямованих на охорону природного середовища існування людей.

„ЗЕЛЕНІ” (*“green”*) – політичні течії, оформлені або не оформлені як політичні партії, які виступають за охорону навколишнього середовища.

ЗМІНА ПРИРОДИ ЛЮДИНОЮ (*human change of nature*) – неминуче вилучення речовини людством, зміна фізичних і хімічних параметрів природи в процесі власного розвитку.

ІНДЕКСИ ЗАБРУДНЕННЯ (*pollution indices*) – кількісна і якісна характеристика забруднювача, яка включає обсяги речовин забруднювачів і ступінь їх впливу на об’єкти, в тому числі і на людину.

ІНДЕКС ЯКОСТІ СЕРЕДОВИЩА (*environmental quality index*) – числовий показник, який показує сприятливість середовища для існування організмів. Може бути виражений як в балах, так і в абсолютних одиницях (в тому числі ГДК речовин – гранично допустимі концентрації).

ІНДИКАЦІЯ (*indication*) – кількісне і якісне визначення хімічних речовин в об’єктах навколишнього середовища, в організмах людей і тварин.

КАДАСТР (*cadastre*) – систематизований реєстр даних, який включає якісний кількісний опис об’єктів і явищ (інколи з економічною оцінкою). Розрізняють кадастр водний, земельний, лісовий, рекреаційний.

КАНЦЕРОГЕН (*cancerogenes*) – речовина або фізичний агент, які пригнічують діють на еритроцити крові і сприяють розвитку злоякісних утворень.

КОМПЛЕКС ПРИРОДНО ТЕРИТОРІАЛЬНИЙ (*natural-territorial complex*) – взаємообумовлене поєднання природних компонентів даної території. Синоніми – геосистема, ландшафт.

КОНЦЕНТРАЦІЯ ГРАНИЧНО ДОПУСТИМА (*safe limit concentration*) – кількість шкідливої речовини в середовищі, яка практично не впливає на здоров’я людини і не викликає негативних наслідків. Встановлюється в законодавчому порядку.

КРИЗА ЕКОЛОГІЧНА (*ecological crisis*) – несприятливий стан взаємовідносин між суспільством і природою, який виникає внаслідок невідповідності розвитку продуктивних сил ресурсно-екологічним можливостям біосфери.

КРУГООБІГ РЕЧОВИН І ЕНЕРГІЇ (*circulation of substances and energy*) – багаторазова участь речовин і енергії в процесах, які протікають в географічній оболонці планети. Розрізняють геологічний кругообіг планетарного характеру і біологічний, який відбувається між організмами і середовищем існування. Особливе значення для біосфери мають кругообіги біофільних елементів — азоту, фосфору, сірки тощо.

КУЛЬТУРА ЕКОЛОГІЧНА (*ecological culture*) – стан, складова частина загальнолюдської культури, яка характеризується глибоким усвідомленням насущної важливості гармонійного взаєморозвитку

суспільства і природи. В основі її – етичне ставлення до живої і неживої природи.

МАКСИМАЛЬНО РАЗОВА ГРАНИЧНО ДОПУСТИМА КОНЦЕНТРАЦІЯ (ГДК_{м.р.}) (*highest single boundary permissible concentration*) – основна характеристика небезпечності шкідливої речовини, яка встановлюється для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світлової чутливості, біоелектричної активності головного мозку) при короткотривалому впливі атмосферних домішок.

МОНІТОРИНГ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (*enviromental monitoring*) – система спостережень за станом навколишнього середовища (процесами і явищами). Моніторинг прийнято поділяти на базовий (загальнобіосферний), регіональний та імпактний (локальний).

НАВАНТАЖЕННЯ АНТРОПОГЕННЕ (*antropogenic pressure*) – ступінь прямого і опосередкованого впливу людей, господарства на природу в цілому та окремі її компоненти і елементи.

НООСФЕРА (*noosphere*) – сфера розуму, еволюційна стадія розвитку біосфери, пов'язана з виникненням і становленням цивілізованого суспільства, коли продумана людська діяльність стає головним, провідним фактором розвитку на Землі.

НОРМУВАННЯ ЯКОСТІ (ГРУНТІВ, ПОВІТРЯ, ВОДИ) (*enviromental qualification*) – встановлення меж, в яких допускається зміна природних властивостей середовища.

ОПАДИ РАДІОАКТИВНІ (*radioactive fallout*) – продукти радіоактивного розпаду, які випадають на Землю у вигляді пилу або з дощем (снігом).

ОПТИМІЗАЦІЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (*optimization of environment*) – система заходів з приведення навколишнього середовища у стан, який найбільше відповідає потребам життя і діяльності людини.

ОХОРОНА ПРИРОДИ (*nature protection*) – сукупність науковообґрунтованих заходів, спрямованих на раціональне використання природних ресурсів, збереження і відновлення природного потенціалу ландшафтів.

ОЦІНЮВАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ (*estimation of natural resources*) – це значення екологічної, гігієнічної, соціально-психологічної та інших цінностей природного об'єкта. Оцінювання виражається переважно в екологічних показниках.

ПЕСТИЦИД (*pesticide*) – хімічна сполука, яка використовується для захисту рослин, сільськогосподарських продуктів і боротьби з переносниками небезпечних захворювань. Їх використання негативно впливає на геосистеми будь-якого рівня і здоров'я людини.

ПИЛ АТМОСФЕРНИЙ (*atmosphere dust*) – сукупність завислих в повітрі дрібних ($1^{-2} \dots 10^{-4}$ см) твердих частинок, здатних в безвітряну погоду осідати на поверхню Землі. Джерела пилу можуть бути як

природного походження (вивітрення гірських порід, виверження вулкану), так і індустріального (викиди промислових підприємств). Основна кількість пилу зосереджена на висотах до 500 м.

ПЛАТА ЗА ЗАБРУДНЕННЯ СЕРЕДОВИЩА (*payment for enviromental pollution*) – грошове покриття підприємством соціально-економічної шкоди, яка завдана господарству і здоров'ю людей. Принцип „забруднювач платить” широко застосовується у світі.

ПЛАТА ЗА ПРИРОДНІ РЕСУРСИ (*payment for natural resources*) – грошове покриття природокористувачем суспільних затрат на пошук, збереження, відновлення, вилучення і транспортування природного ресурсу.

ПОТЕНЦІАЛ ПРИРОДНО-РЕСУРСНИЙ (*natural-resources potential*) – теоретична кількість природних ресурсів, які без шкоди для природи і людства можуть бути використані в господарських цілях.

ПРАВО ПРИРОДООХОРОННЕ (*enviromental law*) – розділ міжнародного права і правової охорони природи держави, який розробляє юридичні основи збереження природних ресурсів і середовища життя.

ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ (*nature management system*) – сукупність всіх форм використання природного ресурсного потенціалу і заходів для його збереження.

ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ (*environmental technology*) – технологічні способи виробництва, які забезпечують потреби людини з одночасним найраціональнішим використанням природних ресурсів і енергії та захистом навколишнього середовища, що базуються на комплексному і раціональному переробленні сировини, вдосконаленні устаткування і технологій очищення газових викидів і стічних вод, переробленні промислових та побутових відходів на цільові продукти, створенні замкнутих газовооборотних циклів, зменшенні до повного усунення кількості і ступеня токсичності всіх відходів. Впровадження природоохоронних технологій спрямоване на комплексне вирішення науково-технічних проблем в галузі охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів та значне зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище.

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНЕ (*ecological prediction*) – передбачення можливої поведінки природних систем як за рахунок впливу природних процесів, так і людської діяльності.

ПРОГРАМА ООН З ПИТАНЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (*the enviromental proqram of UNO*) – міжурядова програма, почата з ініціативи Стокгольмської конференції ООН з питань навколишнього середовища (1972 р.) і рішення Генеральної Асамблеї ООН (1973 р.). Програма спрямована на вирішення найбільш гострих проблем сучасної екологічної кризи (опустелювання, деградації ґрунтів, погіршення якості і зменшення кількості прісних вод, забруднення Світового океану).

РІВНОВАГА ПРИРОДНА (*natural equilibrium*) – стан динамічного балансу безперервного речовинно-енергетичного поновлення з відносним збереженням основних якісно-кількісних характеристик.

РАДІАЦІЯ (*radiation*) – потік корпускулярної (альфа, бета, гамма-випромінювання, потік нейтронів) і електромагнітної енергії.

РЕСУРСИ ПРИРОДНІ (*natural resources*) – речовина природи, яка залучена до суспільного виробництва і складає його сировинну і енергетичну базу. Ресурси поділяються на: первинні, вторинні, невичерпні, вичерпні, відновні й невідновні.

САЖА (*soot*) – твердий продукт згорання або термічною розкладу вуглеводів.

САМООРГАНІЗАЦІЯ (*self-organization*) – сувора послідовність фізико-хімічних і біологічних явищ в природних системах, яка веде до виникнення фізіологічно однорідного і функціонально єдиного цілого.

САМООЧИЩЕННЯ (*self-purification*) – природне знешкодження забруднення в середовищі (воді, ґрунті) в результаті фізичних, хімічних і біологічних процесів. Повне самоочищення води в природних умовах проходить за 92 год.

САМОРЕГУЛЯЦІЯ (*self-regulation*) – властивість природної системи до відновлення внутрішніх параметрів і структур після яких-небудь природних або антропогенних змін.

САНІТАРНО-ЗАХИСНІ ЗОНИ (СЗЗ) (*sanitary protective areas*) – ділянки землі навколо підприємств, які створюють з метою зменшення шкідливого впливу цих підприємств на навколишнє середовище та здоров'я людини.

СЕДИМЕНТАЦІЯ (*sedimentation*) – процес осадження дрібних часточок під дією гравітаційного поля або відцентрових сил.

СЕРЕДНЬОДОБОВА ГРАНИЧНО ДОПУСТИМА КОНЦЕНТРАЦІЯ (ГДК с.д.) (*averagedaily boundary permissible concentration*) – характеристика небезпечності шкідливої речовини, встановлена для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного та інших впливів речовин на організм людини.

СЕРЕДОВИЩЕ, ЯКЕ ОТОЧУЄ ЛЮДИНУ (*enviroment*) – сукупність абіотичного (неживої природи), біотичного і соціального середовища, які разом і безпосередньо впливають на людей і господарство.

СИСТЕМА ПРИРОДНА (*natural system*) – складена природними структурами і утвореннями (підсистемами), які групуються в функціональні компоненти на вищих рівнях ієрархічної організації. Приклади природних систем вищих рівнів організації – популяції, біоценози, біоти.

СИТУАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНА (*ecological state*) – локальний або регіональний стан середовища існування (природних, соціальних складових).

СМОГ (*smog*) – сукупність частинок пилу і крапель туману. Інтенсивний смог викликає алергічні реакції, подразнення слизової оболонки, приступи бронхіальної астми, пошкодження рослинності, будівель, споруд. Розрізняють: смог лондонського типу (вологий) і смог фотохімічний (сухий) – повторне забруднення повітря, яке виникає в результаті розкладу і сполучення забруднювальних речовин під дією сонячного випромінювання.

СТАН ПРИРОДИ (*state of nature*) – якісна відмінність природи від стану, який визначається лише природними процесами. Розрізняють: природний стан, кризовий стан, катастрофічний стан природи.

ТЕРИТОРІАЛЬНА КОМПЛЕКСНА СХЕМА ОХОРОНИ ПРИРОДИ (*territorial complex scheme nature protection*) – науково обґрунтований комплексний план охорони природи певної території (регіону, адміністративної області, міста), що включає нормування навантажень на середовище за всіма видами господарських заходів, виділення проблемних ареалів, встановлення обмежень на розташування підприємств для підтримання екологічного балансу, пропозиції щодо територіального комплексування господарських і середовищезахисних об'єктів.

ТЕХНОЛОГІЯ МАЛОВІДХОДНА (*low-waste technology*) – технологія, яка дає технічно досягнутий мінімум твердих, рідких, газоподібних і теплових відходів і викидів.

ТЕХНОСФЕРА (*technosphere*) – частина біосфери, докорінно перетворена людиною в технічні й технологічні об'єкти (будівлі, дороги, механізми) з допомогою прямого і опосередкованого впливу технічних засобів.

ТОКСИЧНІСТЬ (*toxicity*) – властивість деяких хімічних елементів, сполук і біогенних речовин згубно впливати на живі організми (рослини, тварини, гриби, мікроорганізми) і здоров'я людей (бензапірен, важкі метали, кислотні сполуки, оксиди азоту, сірки).

УРБАНІЗАЦІЯ (*urbanization*) – процес зростання ролі міст в розвитку суспільства, який супроводжується ростом і розвитком міських поселень, зростанням питомої ваги міського населення. За підрахунками спеціалістів економічні втрати від хвороб урбанізації, перш за все шуму, стресу, забруднення, перевищують втрати від страйків.

УМОВИ ПРИРОДНІ (*natural conditions*) – сукупність живих організмів, тіл і явищ природи, які впливають на життєдіяльність і господарську роботу суспільства, але не залучені в матеріальне і виробниче використання, виробничу і невиробничу діяльність людей (клімат).

УТИЛІЗАЦІЯ (*utilization*) – використання енергії і речовини, вилучення корисних компонентів з побутових і промислових відходів, стічних вод, викидів в атмосферу.

ЕКОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ (*environmental factors*) – серед екологічних факторів розрізняють: абіотичні (кліматичні, орографічні, гідрологічні); біотичні (відносини між організмами – симбіоз, паразитизм, нейтралізм тощо); антропогенні (вплив людини).

ФОНОВА КОНЦЕНТРАЦІЯ (*background concentration*) – статистично вірогідна максимальна концентрація, (C_f , мг/м³), яка характеризує забруднення атмосфери.

ХЕМОСОРБЦІЯ (*chemisorption*) – поглинання газів і парів твердими чи рідкими поглиначами з утворенням малолетких або малорозчинних сполук. В основі цього процесу лежить хімічна взаємодія між шкідливими речовинами, що містяться у викидах, і компонентами поглинального розчину.

ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ (*quality of atmospheric air*) – сукупність властивостей повітря, яка визначає ступінь впливу фізичних, хімічних і біологічних факторів на людей, рослинний та тваринний світ, а також на матеріали, конструкції і довкілля загалом.

Додаток А

Таблиця А.1 – Значення нормальної функції розподілу

x	F(x)	X	F(x)	x	F(x)
1	2	3	4	5	6
-2,70	0,0035	-1,44	0,0749	-0,74	0,2297
-2,60	0,0047	-1,42	0,0778	-0,72	0,2358
-2,50	0,0062	-1,40	0,0808	-0,70	0,2420
-2,40	0,0082	-1,38	0,0838	-0,68	0,2483
-2,30	0,0107	-1,36	0,0869	-0,66	0,2546
-2,20	0,0139	-1,34	0,0901	-0,64	0,2611
-2,10	0,0179	-1,32	0,0934	-0,62	0,2676
-2,00	0,0228	-1,30	0,0968	-0,60	0,2743
-1,98	0,0239	-1,28	0,1003	-0,58	0,2810
-1,96	0,0250	-1,26	0,1038	-0,56	0,2877
-1,94	0,0262	-1,24	0,1075	-0,54	0,2946
-1,92	0,0274	-1,22	0,1112	-0,52	0,3015
-1,90	0,0288	-1,20	0,1151	-0,50	0,3085
-1,88	0,0301	-1,18	0,1190	-0,48	0,3156
-1,86	0,0314	-1,16	0,1230	-0,46	0,3228
-1,84	0,0329	-1,14	0,1271	-0,44	0,3300
-1,82	0,0344	-1,12	0,1314	-0,42	0,3372
-1,80	0,0359	-1,10	0,1357	-0,40	0,3446
-1,78	0,0375	-1,08	0,1401	-0,38	0,3520
-1,76	0,0392	-1,06	0,1446	-0,36	0,3594
-1,74	0,0409	-1,04	0,1492	-0,34	0,3669
-1,72	0,0427	-1,02	0,1539	-0,32	0,3745
-1,70	0,0446	-1,00	0,1587	-0,30	0,3821
-1,68	0,0465	-0,98	0,1635	-0,28	0,3697
-1,66	0,0485	-0,96	0,1685	-0,26	0,3974
-1,64	0,0505	-0,94	0,1736	-0,24	0,4052
-1,62	0,0526	-0,92	0,1788	-0,22	0,4129
-1,60	0,0548	-0,90	0,1841	-0,20	0,4207
-1,58	0,0571	-0,88	0,1894	-0,18	0,4286
-1,56	0,0594	-0,86	0,1949	-0,16	0,4364
-1,54	0,0618	-0,84	0,2005	-0,14	0,4443
-1,52	0,0645	-0,82	0,2061	-0,12	0,4522
-1,50	0,0668	-0,80	0,2119	-0,10	0,4602
-1,48	0,0694	-0,78	0,2177	-0,08	0,4681
-1,46	0,0721	-0,76	0,2236	-0,06	0,4761

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6
-0,04	0,4840	0,70	0,7580	1,42	0,9222
-0,02	0,4920	0,72	0,7642	1,44	0,9251
0,00	0,5000	0,74	0,7703	1,46	0,9279
0,02	0,5080	0,76	0,7764	1,48	0,9306
0,04	0,5160	0,78	0,7823	1,50	0,9332
0,06	0,5239	0,80	0,7881	1,52	0,9357
0,08	0,5319	0,82	0,7939	1,54	0,9382
0,10	0,5398	0,84	0,7995	1,56	0,9406
0,12	0,5478	0,86	0,8051	1,58	0,9429
0,14	0,5557	0,88	0,8106	1,60	0,9452
0,16	0,5636	0,90	0,8159	1,62	0,9474
0,18	0,5714	0,92	0,8212	1,64	0,9495
0,20	0,5793	0,94	0,8264	1,66	0,9515
0,22	0,5873	0,96	0,8315	1,68	0,9535
0,24	0,5948	0,98	0,8365	1,70	0,9554
0,26	0,6026	1,00	0,8413	1,72	0,9573
0,28	0,6103	1,02	0,8461	1,74	0,9591
0,30	0,6179	1,04	0,8508	1,76	0,9608
0,32	0,6255	1,06	0,8554	1,78	0,9625
0,34	0,6331	1,08	0,8599	1,80	0,9641
0,36	0,6406	1,10	0,8643	1,82	0,9656
0,38	0,6480	1,12	0,8686	1,84	0,9671
0,40	0,6554	1,14	0,8729	1,86	0,9686
0,42	0,6628	1,16	0,8770	1,88	0,9699
0,44	0,6700	1,18	0,8810	1,90	0,9713
0,46	0,6772	1,20	0,8849	1,92	0,9726
0,48	0,6844	1,22	0,8888	1,94	0,9738
0,50	0,6915	1,24	0,8925	1,96	0,9750
0,52	0,6985	1,26	0,8962	1,98	0,9761
0,54	0,7054	1,28	0,8997	2,00	0,9772
0,56	0,7123	1,30	0,9032	2,10	0,9821
0,60	0,7190	1,32	0,9066	2,20	0,9861
0,62	0,7257	1,34	0,9099	2,30	0,9893
0,64	0,7324	1,36	0,9132	2,40	0,9918
0,66	0,7454	1,38	0,9162	2,50	0,9938
0,68	0,7517	1,40	0,9192	2,70	0,9965

Додаток Б

Гігієнічні нормативи допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць (за ДСП 201-97)

А. Значення встановлених коефіцієнтів комбінованої дії хімічних речовин ($\hat{E}_{\text{св}}$)

І. Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект сумачії біологічної дії з Ккд рівним 1,0 (при розрахунку за формулою)

$$\frac{C_1}{\hat{E}_1} + \frac{C_2}{\hat{E}_2} + \dots + \frac{C_n}{\hat{E}_n} \leq 1,0.$$

1. Ацетон, акролеїн, фталевий ангідрид.
2. Ацетон і фенол.
3. Ацетон і ацетофенон.
4. Ацетон, фурфурол, формальдегід і фенол.
5. Аерозолі п'ятиоксиду ванадію та оксидів марганцю.
6. Ацетальдегід і вінілацетат.
7. Аерозолі п'ятиоксиду ванадію і сірчистий ангідрид.
8. Аерозолі п'ятиоксиду ванадію і триоксиду хрому.
9. Азоту діоксид, гексен, сірчистий ангідрид, оксид вуглецю.
10. Акрилова і метакрилова кислоти.
11. Акрилова і метакрилова кислоти, бутилакрилат, бутилметакрилат, метилакрилат, метилметакрилат.
12. Ацетон, трикрезол, фенол.
13. Аміак, сірководень.
14. Аміак, сірководень, формальдегід.
15. Аміак, формальдегід.
16. Азоту діоксид і оксид, мазутна зола, сірки діоксид.
17. Бензол і ацетофенон.
18. Валеріанова, капронова і масляна кислоти.
19. Вольфрамний і сірчистий ангідриди.
20. Гексахлоран і фазолон.
21. 2,3-Дихлор-1,4-нафтахінон і 1,4-нафтахінон.
22. 1,2-Дихлоропропан, 1,2,3-трихлоропропан, і тетрахлороетилен.
23. Ізопропілбензол і гідроперекис ізопропілбензолу.
24. Ізобутенілкарбінол і диметилвінілкарбінол.
25. Метилдигідропіран і метилентетрагідропіран.
26. Миш'яковистий ангідрид і свинцю ацетат.
27. Миш'яковистий ангідрид і германій.
28. Моно-, ди- і пропіламіни.
29. Озон, діоксид азоту, формальдегід.
30. Оксид вуглецю, діоксид азоту, формальдегід, гексан.
31. Оксид вуглецю і пил цементного виробництва.

32. Оцтова кислота і оцтовий ангідрид.
33. Пропіонова кислота і пропіоновий альдегід
34. Свинцю оксид і сірки діоксид.
35. Сірководень і формальдегід.
36. Сірчистий ангідрид і аерозоль сірчаної кислоти.
37. Сірчистий ангідрид і нікель металевий.
38. Сірчистий ангідрид і сірководень.
39. Сірчистий ангідрид і діоксид азоту.
40. Сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, фенол і пил конверторного виробництва.

41. Сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, діоксид азоту і фенол.
42. Сірчистий ангідрид і фенол.
43. Сірчистий ангідрид і фтористий водень.
44. Сірчаний і сірчистий ангідриди, аміак і оксиди азоту.
45. Сірководень і диніл.
46. Сильні мінеральні кислоти (сірчана, соляна і азотна).
47. Сірчаноокислі мідь, кобальт, нікель і сірчистий ангідрид.
48. Фенол і ацетофенон.
49. Фурфурол, метиловий і етиловий спирти
50. Циклогексан і бензол.
51. Етилен, пропілен, бутилен і амілен.

II. Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект неповної сумачії біологічної дії.

$K_{\text{кд}}$ рівним 1,6 (при розрахунку за формулою)

$$\frac{C_1}{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{E}_1} + \frac{C_2}{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{E}_2} + \dots + \frac{C_n}{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{E}_n} \leq 1,6.$$

1. Вольфрамат натрію, парамолібдат амонію, свинцю ацетат.

$K_{\text{кд}}$ рівним 2,0 (при розрахунку за формулою):

$$\frac{C_1}{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{E}_1} + \frac{C_2}{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{E}_2} + \dots + \frac{C_n}{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{E}_n} \leq 2,0.$$

2. Вольфрамат натрію, миш'яковистий ангідрид, парамолібдат амонію, свинцю ацетат.

$K_{\text{кд}}$ рівним 2,5 (при розрахунку за формулою):

$$\frac{C_1}{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{E}_1} + \frac{C_2}{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{E}_2} + \dots + \frac{C_n}{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{E}_n} \leq 2,5.$$

3. Вольфрамат натрію, германію діоксид, миш'яковистий ангідрид, парамолібдат амонію, свинцю ацетат.

III. Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект посилення (потенціювання) біологічної дії з $K_{\text{кд}}$ рівним 0,8 (при розрахунку за формулою):

$$\frac{C_1}{\hat{E}_{\text{eä}}_1} + \frac{C_2}{\hat{E}_{\text{eä}}_2} + \dots + \frac{C_n}{\hat{E}_{\text{eä}}_n} \leq 0,8.$$

1. Бутилакрилат і метилакрилат.
2. Фтористий водень і фтористі солі.

IV. Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект незалежної біологічної дії (зберігається ГДК кожної речовини).

1. Гексиловий, октиловий спирти ($\hat{E}_{\text{eä}} = 2$);
2. Сірки діоксид, цинку оксид ($\hat{E}_{\text{eä}} = 2$).

Таблиця Б.1 – Гранично допустимі концентрації (ГДК) деяких забруднювальних речовин в атмосферному повітрі населених пунктів

Речовини	ГДК, мг/м ³			
	В повітрі робочої зони (ГОСТ 12.1.005-88)	Максимальна разова	Середньодобова	Клас небезпеки
1	2	3	4	5
Азоту діоксид	2	0,085	0,04	2
Азоту оксид	5	0,6	0,06	3
Альдегід масляний	5	0,015	0,15	3
Аміл бромистий	-	0,8	-	2
Амонію нітрат	-	-	0,3	4
Амофос	-	2	0,2	4
Аміак	20	0,2	0,04	4
Ангідрид оцтовий	1	0,1	0,03	3
Ангідрид фосфорний	1	0,15	0,05	2
Анілін	0,1	0,05	0,03	2
Ацетон	200	0,35	0,35	4
Барій вуглецевий	-	-	0,004	1
Білок пилу білкововітамінного концентрату (БВК)	0,1	-	0,001	2
Бензапірен	-	-	0,1 мкг/100 м ³	1
Бензин (нафтовий малосірчаний)	100	5	1,5	4
Бензин сланцевий	-	0,05	0,05	4
Бензол	15	1,5	0,1	2

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
Бром	0,5	-	0,04	2
Бромоводень	-	1	0,1	3
Бутан	300	200	-	4
Бутилацетат	200	0,1	0,1	4
Ванадію (V) оксид	0,1	-	0,002	1
Завислі речовини (аерозоль)	-	0,5	0,15	3
Гексан	300	60	-	4
Германію (IV) оксид	2	-	0,04	3
Двоокис сірки	-	0,5	0,15	2
Диметиламін	1	0,005	0,005	2
Дихлорометан	10	3	1	2
Діетиловий ефір	300	1	0,6	4
Зола	4	0,5	0,05	4
Заліза оксид	4	-	0,04	3
Йод	1	-	0,03	2
Кадмію оксид	0,05	-	0,01	2
Кислота азотна (HNO ₃)	2	0,4	0,15	2
Кислота борна	10	-	0,02	3
Кислота валеріанова	5	0,03	0,01	3
Кислота сірчана (H ₂ SO ₄)	1	0,3	0,1	2
Кислота оцтова	5	0,2	0,06	3
Кобальт металевий	0,5	0,5	-	1
Кобальт сірчаноокислий	0,01	-	0,001	2
Ксилол	50	0,2	0,2	3
Магнію оксид	10	0,4	0,05	3
Марганець і його сполуки	0,3	0,01	0,001	2
Міді оксид	1	-	0,002	2
Миш'як	0,04	-	0,003	2
Нафталін	20	0,003	0,003	4
Нікель, розчинні солі	0,005	-	0,0002	1
Нікель металевий	0,05	-	0,001	2
Нікелю оксид	0,05	-	0,001	2

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
Нітробензол	3	0,008	0,008	2
Озон	0,1	0,16	0,03	1
Олова хлорид		0,5	0,05	3
Пеніцилін	-	0,05	0,0025	3
Пентан	300	100	25	4
Пропілен		3	3	3
Ртуть металева	0,01	-	0,0003	1
Сажа	-	0,15	0,05	3
Свинець і його сполуки	0,01	-	0,0003	1
Сірководень	10	0,008	-	2
Сірковуглець	1	0,3	0,005	2
Скипидар	300	2	1	4
Спирт етиловий	1000	5	5	4
Вуглецю оксид	20	5	3	4
Фенол	0,3	0,01	0,003	2
Хром шестивалентний	1	0,0015	0,0015	2
Циклогексан	80	1,4	1,4	4
Етилацетат	200	0,1	0,1	4
Етилбензол	50	0,02	0,02	3

Примітки:

1. У випадках визначення недиференційованого за складом пилу (аерозолу) допускається приймати значення ГДК його: максимальної разової – 0,5 мг/м³, середньодобової – 0,15 мг/м³, 3-й клас небезпечності. Ці значення не стосуються аерозолів органічних і неорганічних сполук (металів, їх солей, пластмас, біологічних, лікарських препаратів тощо), для яких встановлюються відповідні ГДК;

2. Загальна запиленість, що створюється викидами підприємств і інших об'єктів з вмістом твердих аерозолів різних хімічних сполук, у повітряному середовищі навколишньої житлової забудови не повинна перевищувати ГДК, встановленої для недиференційованого за складом пилу (див. п. 1 приміток).

Додаток В

Таблиця В.1 – Санітарна класифікація деяких підприємств і розміри санітарно-захисних зон для них (із ДСП 173-96)

Вид виробництва, підприємство	Клас	Розмір СЗЗ, м
1	2	3
Виробництво білково-вітамінного концентрату (поприну)	І А	3000
Виробництво концентрованих мінеральних добрив	І Б	1000
Підприємства з переробки нафти	І Б	1000
Калійні комбінати	І Б	1000
Виробництво глинозему (оксиду алюмінію)	І Б	1000
Виробництво асфальтобетону	І Б	1000
Виробництво свинцевих акумуляторів	ІІ	500
Виробництво гіпсу, азбесту, вапна	ІІ	500
Прокатні цехи	ІІ	500
Виробництво корунду, ультрамарину, складних ефірів	ІІ	500
Виробництво оцтової кислоти, нікотину	ІІ	500
Виробництво пластичних мас (карболіту, хлорвінілу тощо)	ІІІ	300
Виробництво штучних заповнювачів (керамзиту тощо), асфальтобетону, толю, руберойду	ІІІ	300
Підприємства бурякоцукрові	ІІІ	300
Заводи кормових антибіотиків	ІІІ	300
Скотомогильники із захороненням в ямах кладовища	ІІІ	300
Ділянки для парників, теплиць з використанням сміття	ІІІ	300
Бойні дрібних тварин і птахів	ІІІ	300
Виробництво штучних мінеральних добрив	ІІІ	300
Виробництво антибіотиків біологічним шляхом	ІІІ	300
Гальванічні цехи	ІІІ	300
Виробництво штучного каміння і бетонних виробів	ІV	100
Елеватори цементів та інших пилових матеріалів	ІV	100
Виробництво будівельних матеріалів з відходів ТЕЦ	ІV	100
Комбікормові заводи (виробництво кормів для тварин з харчових залишків)	ІV	100
Виробництво червоної та силікатної цегли	ІV	100
Механізовані транспортні парки для очищення міст	ІV	100

Продовження таблиці В.1

1	2	3
Підприємства з обслуговування автомобілів (вантажні автомобілі, а також автобуси міського транспорту)	IV	100
Підприємства з обслуговування автомобілів (легкові автомобілі, а також автобуси, крім автобусів міського транспорту)	IV	100
Виробництво глиняних виробів	V	50
Виробництво вуглекислоти та „сухого” льоду	V	50
Кондитерські фабрики	V	50
Заводи спирто-горілчані	V	50
Олійні (рослинні) масла	V	50
Консервні заводи	V	50
Виробництво взуття	V	50
Швейні фабрики	V	50
Овочесховища	V	50
Цукрово-рафінадні заводи	V	50
Макаронні фабрики	V	50
Пивоварні заводи	V	50
Молочні і маслоробні заводи (тваринні масла)	V	50
Ковбасні фабрики з продуктивністю більше 3 т в зміну	V	50
Хлібозаводи	V	50
Винні заводи	V	50
Заводи фруктових і овочевих безалкогольних напоїв	V	50
Холодильники ємністю більше 600 т	V	50
Підприємства столярно-теслярські, меблеві, паркетні, ящикові	V	50
Виробництво лужних акумуляторів	V	50
Виробництво фотохімічне (фотопластинок, кіноплівки та фотопаперу)	V	50
Виробництво штучних перлів	V	50
Друкарні	V	50

Для теплових електростанцій і котельних санітарно-захисні зони визначаються з розрахунків розсіювання в атмосфері шкідливих речовин, що містяться у викидах.

Додаток Г

Таблиця Г.1 – Основні фізичні властивості газів

Газ	Фор-мула	Густина (при 0 °С і 0,101 МПа), кг/м ³	Молеку- лярна маса М, кг/кмоль	Газова постійна К, Дж/кг·К	Питома теплоємність при 20 °С і 0,101 МПа, кДж/кг·К		В'язкість при 0 °С і 0,101 МПа, μ	
					С _p	С _v	·10 ⁻⁶ Па· с	С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Азот	N ₂	1,2507	28,02	297	1,04	0,745	17	114
Аміак	NH ₃	1,771	17,03	488	2,24	1,67	9,18	626
Аргон	Ar	1,782	39,94	209	0,53	0,32	20,9	142
Ацети- лен	C ₂ H ₂	1,171	26,04	320	1,68	1,35	9,35	198
Бензол	C ₆ H ₆	-	78,11	106	1,25	1,14	7,2	-
Бутан	C ₄ H ₁₀	2,673	58,12	143	1,91	1,73	8,1	377
Повітря	-	1,293	28,95	288	1,01	0,72	17,3	124
Водень	H ₂	0,089	2,016	4130	1,42	1,01	8,42	73
Воднева пара	-	0,804	18,02	430	2,01	-	10,0	961
Гелій	He	0,1785	4,00	2080	5,27	3,18	18,8	78
Двоокис азоту	NO ₂	-	46,01	180	0,802	0,614	-	-
Дво- окис сірки	SO ₂	2,927	64,07	130	0,631	0,501	11,7	396
Двоокис вуглецю	CO ₂	1,976	44,01	189	0,836	0,651	13,7	254
Ки-сень	O ₂	1,4289	32	260	0,911	0,651	20,3	131
Метан	CH ₄	0,717	16,04	519	2,22	1,67	10,3	162
Окис ву- глецю	CO	1,250	28,01	293	1,05	0,753	16,6	100
Н-Пен- тан	C ₅ H ₁₂	-	72,15	115	1,715	1,57	8,74	-
Пропан	C ₃ H ₈	2,020	44,1	189	1,86	1,65	-	278
Про- пілен	C ₃ H ₆	1,914	42,8	198	1,63	1,432	-	322
Сірко- водень	H ₂ S	1,539	34,08	244	1,06	0,801	11,66	-
Хлор	Cl	3,217	70,91	177	0,482	0,36	-	351
Хлор- ний метил	CH ₃ Cl	2,308	50,49	165	0,74	0,582	9,89	454
Етан	C ₂ H ₆	1,357	30,07	283	1,73	1,44	8,5	287
Етилен	C ₂ H ₄	1,261	28,05	296	1,53	1,22	9,85	241

Додаток Д

Таблиця Д.1 – Фракційний склад пилу, який виділяється при деяких процесах абразивного оброблення металів в механічних цехах і цехах гальванічного покриття

Відділення (верстат)	Об'єм аспіраційного повітря Q, тис. м³/год	Пил	Концентрація пилу в повітрі, С, г/м³	Медіанний діаметр частинок d, мкм	Густина частинок $\rho_{ч}$, (кг/м³)·1000
<i>Механічні цехи</i>					
Обдирний	5,0 – 14	Ливарна земля + металевий + абразивний	0,1 – 0,5	30 – 60	2,2 – 5,2
Те ж, ділянка зачищення деталей наждаком	2,0 – 7,0	Абразивний + металевий	0,2 – 0,5	44 – 60	3,4 – 4,8
Заточувальний	2,5 – 6,5	Металевий + абразивний + окалина	0,1 – 0,4	14 – 60	3,4 – 4,8
Шліфувальний	3,0 – 7,0	Абразивний + металевий	0,5 – 1,0	19 – 35	3,4 – 4,8
Полірувальний	9,0 – 20,0	Абразивний + текстильний + пил полірувальної пасти	0,9 – 1,1	40 – 240	1,5
<i>Цехи гальванічного покриття</i>					
Шліфувальний	0,5 – 3,0	Абразивний + металевий	0,3 – 0,8	10 – 20	3,4 – 4,8
Полірувальний	0,7 – 2,5	Абразивний + текстильний + пил полірувальної пасти	0,1 – 0,3	25 – 100	1,5 – 1,8

Примітка. Дисперсний склад абразивного + металевого пилу (при обдиранні і заточуванні):

d, мкм	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 40	40 – 60	більше 60
ΔR , %	13	12,1	22,8	22,9	21,8	7,4

Додаток Е

Таблиця Е.1 – Густина ρ різних речовин

Речовина	ρ , г/см ³	Речовина	ρ , г/см ³
<i>Тверді тіла</i>		<i>Рідини (t = 20 °C)</i>	
Алмаз	3,5	Ацетон	0,8
Алюміній	2,7	Бензол	0,88
Бетон	2,2	Бензин	0,7
Вольфрам	19,1	Вода	1,00
Граніт	2,8	Гліцерин	1,26
Графіт	1,6	Дизпаливо	0,825
Дуб	0,8	Гас	0,8
Залізо (сталь)	7,8	Молоко	1,03
Золото	19,3	Ртуть	13,6
Іридій	22,4	Спирт	0,79
Кам'яне вугілля	1,4	Важка вода	1,1
Кобальт	8,9	Ефір	0,72
Латунь	8,6	<i>Гази (t = 20 °C, p = 0,101 МПа)</i>	
Лід	0,916		
Магній	1,74	Азот	1,25
Мідь	8,9	Аміак	1,77
Молібден	10,2	Водень	0,09
Натрій	0,97	Вуглекислий газ	1,98
Олово	7,4	Повітря	1,293
Пісковик	2,4	Кисень	1,43
Пробка	0,20	Метан	0,72
Свинець	11,34	Хлор	3,21
Срібло	10,5	Гелій	0,179
Сосна	0,5	Природний газ (стиснутий)	0,76
Скло (віконне)	2,5		
Титан	4,5		
Уран	19,0		
Цемент	2,3		
Цинк	7,1		
Фарфор	2,3		

Додаток Ж

Таблиця Ж.1 – Питомі викиди шкідливих речовин на ТЕС при спалюванні найпоширеніших видів органічного палива q_n , г/ кВт·год

Паливо	Вихід газів при нормальних умовах O_2 , м ³ /кВт·год	Летка зола	Окисли сірки	Окисли азоту
Березівське вугілля	4,35	29	2,1	1,8
Кузнецьке вугілля	4,1	82	3,5	5
Донецьке пісне вугілля	4	97	21,6	2,8
Екібастузьке вугілля	4,05	253	9,1	3,2
Сланці естонські	5,2	320	18,5	3,4
Підмосковне буре вугілля	4,8	242	53,5	2,8
Мазут ($S_p = 3\%$)	4	0,4	15,9	3,2

Додаток И

Таблиця И.1 – Середньогодинна кількість відходів, які утворюються при обробленні деревини

Верстати	Коефіцієнт використання машинного часу, K_v	Максимальний об'єм відсмоктуваного повітря Q , тис. м ³ /год	Середня кількість відходів Q_v , кг/год	Середній вміст пилу з розміром частинок менше 200 мкм	
				%	кг/год
Круглопиляльні:					
ЦТЕФ	-	2,52	46,3	34	15,7
ЦД-2А	0,9	1,50	61,0	35	21,5
ЦМР-1	0,95	1,90	170,0	36	61,2
Фугувальні:					
С2Р6, С2Р8	0,9	2,50	445,0	25	112
С2Р12	0,9	3,10	490,0	25	122,5
Фрезерні:					
Ф-4, Ф-6	0,7	1,35	26,1	20	5,2
Ф-5	0,7	1,50	26,1	20	5,2
ФС-1	-	1,35	47,5	20	9,5
ФЛ, ФЛА, ФСШ-1	-	0,9	24,0	20	4,8
Шипорізні:					
Шипорізні фрези	-	1,51	73,0	16	11,6
ШО-10 (пилка)	-	0,72	4,6	16	0,7
Шипорізні головки	-	1,22	54,0	16	8,6
Свердлильні і довбальні:					
СВА-2	0,5	0,15	14,0	18	2,5
СВГП-1	-	1,0	23,1	-	1,5
Токарний ІЕ61М	-	1,8	26,0	21	6,0
ІА6113					
Шліфувальні:					
ШлПС-5П	-	3,0	2,8	100	2,8
ШлПС-7	-	3,0	5,6	100	5,6
ШлНСВ	-	2,4	1,2	100	1,2
Шліфувально-дискові ШЛДБ-4	-	1,4	12,0	67	8

Додаток К

ЗАКОН УКРАЇНИ Про охорону атмосферного повітря

(Із змінами та доповненнями, внесеними Верховною Радою України,
станом на 01.01.2009 року)

Атмосферне повітря є одним з основних життєво важливих елементів навколишнього природного середовища.

Цей Закон спрямований на збереження та відновлення природного стану атмосферного повітря, створення сприятливих умов для життєдіяльності, забезпечення екологічної безпеки та запобігання шкідливому впливу атмосферного повітря на здоров'я людей та навколишнє природне середовище.

Цей Закон визначає правові і організаційні основи та екологічні вимоги в галузі охорони атмосферного повітря.

Розділ I ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Стаття 1. Визначення термінів

У цьому Законі наведені нижче терміни вживаються у такому значенні:

- *атмосферне повітря* – життєво важливий компонент навколишнього природного середовища, який являє собою природну суміш газів, що знаходиться за межами жилих, виробничих та інших приміщень;

- *охорона атмосферного повітря* – система заходів, пов'язаних зі збереженням, поліпшенням та відновленням стану атмосферного повітря, запобіганням та зниженням рівня його забруднення та впливу на нього хімічних сполук, фізичних та біологічних факторів;

- *забруднення атмосферного повітря* – змінення складу і властивостей атмосферного повітря в результаті надходження або утворення в ньому фізичних, біологічних факторів і (або) хімічних сполук, що можуть несприятливо впливати на здоров'я людини та стан навколишнього природного середовища;

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

- *викид* – надходження в атмосферне повітря забруднюючих речовин або суміші таких речовин;

- *нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря* – група нормативів, дотримання яких запобігає виникненню небезпеки для

здоров'я людини та стану навколишнього природного середовища від впливу шкідливих чинників атмосферного повітря;

- *норматив вмісту забруднюючої речовини у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувного джерела* – гранично допустима кількість забруднюючої речовини у відпрацьованих газах пересувного джерела, що відводиться в атмосферне повітря;

- *норматив гранично допустимого викиду забруднюючої речовини стаціонарного джерела* – гранично допустимий викид забруднюючої речовини або суміші цих речовин в атмосферне повітря від стаціонарного джерела викиду;

- *технологічний норматив допустимого викиду забруднюючої речовини* – гранично допустимий викид забруднюючої речовини або суміші цих речовин, який визначається у місці його виходу з устаткування;

- *норматив якості атмосферного повітря* – критерій якості атмосферного повітря, який відображає гранично допустимий максимальний вміст забруднювальних речовин в атмосферному повітрі і при якому відсутній негативний вплив на здоров'я людини та стан навколишнього природного середовища;

- *норматив гранично допустимого впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел* – норматив, який встановлюється для кожного стаціонарного джерела акустичного, електромагнітного, іонізуючого та інших фізичних і біологічних факторів на рівні, за якого фізичний та біологічний вплив усіх джерел у цьому районі з урахуванням перспектив його розвитку в період терміну дії встановленого нормативу не призведе до перевищення нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря (за найбільш суворим нормативом);

- *джерело викиду* – об'єкт (підприємство, цех, агрегат, установка, транспортний засіб тощо), з якого надходить в атмосферне повітря забруднююча речовина або суміш таких речовин.

Стаття 2. Законодавство про охорону атмосферного повітря

Відносини в галузі охорони атмосферного повітря регулюються цим Законом, Законом України „Про охорону навколишнього природного середовища” (1264-12) та іншими нормативно-правовими актами.

Стаття 3. Державне управління в галузі охорони атмосферного повітря

Державне управління в галузі охорони атмосферного повітря відповідно до закону здійснюють:

- Кабінет Міністрів України;
- спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів;

- спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з питань охорони здоров'я;
- Рада міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві державні адміністрації, інші центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування.

Розділ II СТАНДАРТИЗАЦІЯ І НОРМУВАННЯ В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Стаття 4. Завдання стандартизації і нормування в галузі охорони атмосферного повітря

Стандартизація і нормування в галузі охорони атмосферного повітря проводяться з метою встановлення комплексу обов'язкових норм, правил, вимог до охорони атмосферного повітря від забруднення та забезпечення екологічної безпеки.

Стандартизація і нормування в галузі охорони атмосферного повітря спрямовані на:

- забезпечення безпечного навколишнього природного середовища та запобігання екологічним катастрофам;
- реалізацію єдиної науково-технічної політики в галузі охорони атмосферного повітря;
- встановлення єдиних вимог до обладнання і споруд щодо охорони атмосферного повітря від забруднення;
- забезпечення безпеки господарських об'єктів і запобігання виникненню аварій та техногенних катастроф;
- впровадження і використання сучасних екологічно безпечних технологій.

Стандарти в галузі охорони атмосферного повітря розробляються, приймаються, схвалюються, переглядаються, змінюються, їх дія припиняється в порядку, встановленому законом.

Стаття 5. Нормативи в галузі охорони атмосферного повітря

У галузі охорони атмосферного повітря встановлюються такі нормативи:

- нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря;
- нормативи гранично допустимих викидів забруднюючих речовин стаціонарних джерел;
- нормативи гранично допустимого впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел;
- нормативи вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел;
- технологічні нормативи допустимого викиду забруднюючих речовин.

Законодавством можуть встановлюватися й інші нормативи в галузі охорони атмосферного повітря.

Порядок розроблення та затвердження нормативів у галузі охорони атмосферного повітря встановлюється Кабінетом Міністрів України відповідно до закону.

Стаття 6. Нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря

Для оцінювання стану забруднення атмосферного повітря встановлюються нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря та нормативи гранично допустимих викидів в атмосферне повітря забруднюючих речовин, рівні шкідливого впливу фізичних та біологічних факторів у межах населених пунктів, у рекреаційних зонах, в інших місцях проживання, постійного чи тимчасового перебування людей, об'єктах навколишнього природного середовища з метою забезпечення екологічної безпеки громадян і навколишнього природного середовища:

- нормативи якості атмосферного повітря;
- гранично допустимі рівні впливу акустичного, електромагнітного, іонізуючого та інших фізичних факторів і біологічного впливу на стан атмосферного повітря населених пунктів.

Для курортних, лікувально-оздоровчих, рекреаційних та інших окремих районів можуть встановлюватися більш суворі нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря.

Стаття 7. Нормативи гранично допустимих викидів забруднюючих речовин стаціонарних джерел

Нормативи гранично допустимих викидів забруднювальних речовин та їх сукупності, які містяться у складі пилогазоповітряних сумішей, що відводяться від окремих типів обладнання, споруд і надходять в атмосферне повітря від стаціонарних джерел, встановлюються з метою забезпечення дотримання нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря з урахуванням економічної доцільності, рівня технологічних процесів, технічного стану обладнання, газоочисних установок.

Для діючих і тих, що проектуються, окремих типів обладнання і споруд залежно від часу розроблення та введення у дію, наявності наукових і технічних розробок, економічної доцільності встановлюються:

- норматив гранично допустимого викиду забруднюючої речовини стаціонарного джерела;
- технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин або їх суміші, які визначаються у місці їх виходу з устаткування.

До технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин належать:

- поточні технологічні нормативи – для діючих окремих типів обладнання, споруд на рівні підприємств з найкращою існуючою технологією виробництва аналогічних за потужністю технологічних процесів;

- перспективні технологічні нормативи – для нових і таких, що проектуються, будуються або модернізуються, окремих типів обладнання, споруд з урахуванням досягнень на рівні передових вітчизняних і світових технологій та обладнання.

Стаття 8. Нормативи гранично допустимого впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел

Нормативи гранично допустимих рівнів впливу на атмосферне повітря встановлюються для кожного стаціонарного джерела для всіх, створюваних ним, видів фізичних і біологічних факторів.

Нормативи гранично допустимого впливу фізичних та біологічних факторів встановлюються на рівні, за якого фізичний та біологічний вплив усіх джерел у цьому районі, з урахуванням перспектив його розвитку, в період терміну дії встановленого нормативу не призведе до перевищення нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря (за найбільш суворим нормативом).

Стаття 9. Нормативи вмісту забруднювальних речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел

Для кожного типу пересувних джерел, що експлуатуються на території України, встановлюються нормативи вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів цих джерел, які розробляються з урахуванням сучасних технічних рішень щодо зменшення утворення забруднюючих речовин, зниження рівнів впливу фізичних факторів, очищення відпрацьованих газів та економічної доцільності.

Розділ III ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Стаття 10. Обов'язки підприємств, установ, організацій та громадян – суб'єктів підприємницької діяльності щодо охорони атмосферного повітря

Підприємства, установи, організації та громадяни – суб'єкти підприємницької діяльності, що здійснюють викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря та діяльність яких пов'язана з впливом фізичних та біологічних факторів на його стан, зобов'язані:

- здійснювати організаційно-господарські, технічні та інші заходи щодо забезпечення виконання вимог, передбачених стандартами та

нормативами екологічної безпеки у галузі охорони атмосферного повітря, дозволами на викиди забруднюючих речовин тощо;

- вживати заходів щодо зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин і зменшення впливу фізичних факторів;

- забезпечувати безперебійну ефективну роботу і підтримання у справному стані споруд, устаткування та апаратури для очищення викидів і зменшення рівнів впливу фізичних та біологічних факторів;

- здійснювати контроль за обсягом і складом забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря, і рівнями фізичного впливу та вести їх постійний облік;

- заздалегідь розробляти спеціальні заходи щодо охорони атмосферного повітря на випадок виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру і вживати заходів для ліквідації причин, наслідків забруднення атмосферного повітря;

- забезпечувати здійснення інструментально-лабораторних вимірювань параметрів викидів забруднюючих речовин стаціонарних і пересувних джерел та ефективності роботи газоочисних установок;

- забезпечувати розроблення методик виконання вимірювань, що враховують специфічні умови викиду забруднюючих речовин;

- використовувати метрологічно атестовані методики виконання вимірювань і повірені засоби вимірювальної техніки для визначення параметрів газопилового потоку і концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та викидах стаціонарних і пересувних джерел;

- здійснювати контроль за проектуванням, будівництвом і експлуатацією споруд, устаткування та апаратури для очищення газопилового потоку від забруднюючих речовин і зниження впливу фізичних та біологічних факторів, оснащення їх засобами вимірювальної техніки, необхідними для постійного контролю за ефективністю очищення, дотриманням нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин і рівнів впливу фізичних та біологічних факторів та інших вимог законодавства в галузі охорони атмосферного повітря;

- своєчасно і в повному обсязі сплачувати збори за забруднення навколишнього природного середовища та погіршення якості природних ресурсів відповідно до закону.

Виконання заходів щодо охорони атмосферного повітря не повинно призводити до забруднення ґрунтів, вод та інших природних об'єктів.

Стаття 11. Регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарних джерел

Для забезпечення екологічної безпеки, створення сприятливого середовища життєдіяльності, запобігання шкідливому впливу

атмосферного повітря на здоров'я людей та навколишнє природне середовище здійснюється регулювання викидів найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, перелік яких встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Перелік забруднюючих речовин переглядається Кабінетом Міністрів України не менше одного разу на п'ять років за пропозицією спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів і спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань охорони здоров'я.

За поданням територіальних органів спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів і спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань охорони здоров'я органи місцевого самоврядування з урахуванням особливостей екологічної ситуації регіону, населеного пункту можуть додатково встановлювати перелік забруднюючих речовин, за якими здійснюється регулювання їх викидів на відповідній території.

За поданням територіальних органів спеціально уповноважених центральних органів виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів та з питань охорони здоров'я органи місцевого самоврядування, у разі перевищення нормативів екологічної безпеки, на відповідній території затверджують відповідно до закону програми оздоровлення атмосферного повітря, здійснюють заходи щодо зменшення забруднення атмосферного повітря.

Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами можуть здійснюватися після отримання дозволу, який видається територіальним органом спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів за погодженням із територіальним органом спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань охорони здоров'я.

Перелік установ, організацій та закладів, яким надається право на розробку документів, що обґрунтовують обсяги викидів для підприємств, установ, організацій та громадян – суб'єктів підприємницької діяльності, визначається спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів.

Дозволи на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря видаються за умови:

- неперевикнення протягом терміну їх дії встановлених нормативів екологічної безпеки;
- неперевикнення нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин стаціонарних джерел;

- дотримання вимог до технологічних процесів у частині обмеження викидів забруднюючих речовин.

Якщо за результатами спостережень за станом атмосферного повітря або розрахунковими даними встановлено зони, де внаслідок причин об'єктивного характеру встановлено перевищення нормативів екологічної безпеки, приймається рішення про поетапне зниження викидів забруднюючих речовин підприємствами, установами, організаціями та громадянами – суб'єктами підприємницької діяльності. Тривалість кожного етапу та необхідне зменшення обсягів викидів забруднюючих речовин на кожному етапі встановлюються територіальними органами спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів за погодженням з територіальними органами спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань охорони здоров'я.

Порядок проведення та оплати робіт, пов'язаних з видачею дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, обліку підприємств, установ, організацій та громадян – суб'єктів підприємницької діяльності, які отримали такі дозволи, встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Стаття 12. Обмеження, тимчасова заборона (зупинення) або припинення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря і впливу фізичних та біологічних факторів на його стан

Господарська чи інші види діяльності, пов'язані з порушенням умов і вимог до викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря і рівнів впливу фізичних та біологічних факторів на його стан, передбачених дозволами, може бути обмежена, тимчасово заборонена (зупинена) або припинена відповідно до законодавства.

Стаття 13. Регулювання рівнів впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря

Рівні впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря, вимоги щодо їх скорочення встановлюються відповідним дозволом на основі затверджених нормативів. Порядок розроблення, видачі та оплати робіт, пов'язаних з видачею дозволів на рівні впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря, та обліку підприємств, установ, організацій і громадян – суб'єктів підприємницької діяльності, які отримали такі дозволи, встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Дозволи на гранично допустимі рівні шуму, що утворюється стаціонарними джерелами, зокрема під час роботи машин, механізмів, обладнання, інструментів, а також користування звуковідтворювальною

апаратурою та музичними інструментами у концертних і танцювальних залах та на відкритих майданчиках, у театрах і кінотеатрах, дискотеках, казино, інших закладах розважального та грального бізнесу і культури, музичних закладах освіти, у ресторанах, кафе, барах, інших закладах громадського харчування, торгівлі, побутового обслуговування тощо, видаються в порядку, встановленому цим Законом.

Місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, підприємства, установи, організації та громадяни – суб'єкти підприємницької діяльності зобов'язані вживати необхідних заходів до запобігання та недопущення перевищення встановлених рівнів впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря і здоров'я людини.

Стаття 14. Регулювання викидів забруднюючих речовин і впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря у разі відсутності нормативів

Викиди забруднюючих речовин і вплив на стан атмосферного повітря фізичних та біологічних факторів, для яких не встановлено відповідних нормативів екологічної безпеки, допускаються у виняткових випадках лише з дозволу територіальних органів спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів та територіальних органів спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань охорони здоров'я за умови, що за цей період буде встановлено відповідний норматив та вжито необхідних заходів щодо охорони атмосферного повітря.

Стаття 15. Заходи щодо охорони атмосферного повітря у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру

Підприємства, установи, організації та громадяни – суб'єкти підприємницької діяльності, які здійснюють викиди забруднюючих речовин або впливи фізичних та біологічних факторів, що можуть призвести до виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру або до надзвичайних екологічних ситуацій, зобов'язані заздалегідь розробити та погодити спеціальні заходи щодо охорони атмосферного повітря відповідно до закону.

У разі виникнення таких надзвичайних екологічних ситуацій керівники підприємств, установ, організацій та громадяни – суб'єкти підприємницької діяльності зобов'язані негайно в порядку, визначеному Законом України „Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру” (1809-14), повідомити про це органи, які здійснюють державний контроль у галузі охорони атмосферного повітря, і вжити заходів до охорони атмосферного повітря та ліквідації причин і наслідків його забруднення.

Стаття 16. Регулювання діяльності, що впливає на погоду і клімат

Діяльність, спрямована на штучні зміни стану атмосфери та атмосферних явищ у господарських цілях, може провадитися підприємствами, установами, організаціями та громадянами – суб'єктами підприємницької діяльності тільки за дозволами, виданими спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів або його територіальними органами, за погодженням із спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань охорони здоров'я або його територіальними органами, місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування. Порядок погодження і видачі дозволів встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Підприємства, установи, організації та громадяни – суб'єкти підприємницької діяльності зобов'язані відповідно до міжнародних договорів, згода на обов'язковість яких надана Верховною Радою України, скорочувати і в подальшому повністю припинити виробництво та використання хімічних речовин, що шкідливо впливають на озоновий шар, а також проводити роботу щодо зменшення викидів речовин, накопичення яких в атмосферному повітрі може призвести до негативних змін клімату.

Стаття 17. Заходи щодо відвернення і зменшення забруднення атмосферного повітря викидами транспортних та інших пересувних засобів і установок та впливу їх фізичних факторів

З метою відвернення і зменшення забруднення атмосферного повітря транспортними та іншими пересувними засобами і установками та впливу пов'язаних з ними фізичних факторів здійснюються:

- розроблення та виконання комплексу заходів щодо зниження викидів, знешкодження шкідливих речовин і зменшення фізичного впливу під час проектування, виробництва, експлуатації та ремонту транспортних та інших пересувних засобів і установок;
- переведення транспортних та інших пересувних засобів і установок на менш токсичні види палива;
- раціональне планування та забудова населених пунктів з дотриманням нормативно визначеної відстані до транспортних шляхів;
- виведення з густонаселених житлових кварталів за межі міста транспортних підприємств, вантажного транзитного автомобільного транспорту;
- обмеження в'їзду автомобільного транспорту та інших транспортних засобів та установок у сельбищні, курортні, лікувально-оздоровчі, рекреаційні та природно-заповідні зони, місця масового відпочинку та туризму;

- поліпшення стану утримання транспортних шляхів і вуличного покриття;
- впровадження в містах автоматизованих систем регулювання дорожнього руху;
- удосконалення технологій транспортування і зберігання палива, забезпечення постійного контролю за якістю палива на нафтопереробних підприємствах та автозаправних станціях;
- впровадження та вдосконалення діяльності контрольно-регулювальних і діагностичних пунктів та комплексних систем перевірки нормативів екологічної безпеки транспортних та інших пересувних засобів і установок.

Проектування, виробництво та експлуатація транспортних та інших пересувних засобів і установок, вміст забруднювальних речовин у відпрацьованих газах, який перевищує нормативи або рівні впливу фізичних факторів, забороняються.

Стаття 18. Виконання вимог до охорони атмосферного повітря під час застосування пестицидів та агрохімікатів

Підприємства, установи, організації та громадяни – суб'єкти підприємницької діяльності зобов'язані дотримуватися правил та вимог щодо транспортування, зберігання і застосування пестицидів та агрохімікатів з метою недопущення забруднення атмосферного повітря.

Стаття 19. Виконання вимог до охорони атмосферного повітря під час видобування надр та проведення вибухових робіт

Видобування надр та вибухові роботи повинні проводитися з дотриманням вимог щодо охорони атмосферного повітря способами, погодженими із спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів, спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань охорони здоров'я, іншими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування відповідно до закону.

Стаття 20. Виконання вимог щодо охорони атмосферного повітря від забруднення виробничими, побутовими та іншими відходами

Складування, розміщення, зберігання або транспортування промислових та побутових відходів, які є джерелами забруднення атмосферного повітря забруднюючими речовинами та речовинами з неприємним запахом або іншого шкідливого впливу, допускається лише за наявності спеціального дозволу на визначених місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування територіях, з додержанням нормативів екологічної безпеки і подальшої утилізації або видалення.

Не допускається спалювання зазначених відходів на території підприємств, установ, організацій і населених пунктів, за винятком випадків, коли це здійснюється з використанням спеціальних установок при додержанні вимог, встановлених законодавством про охорону атмосферного повітря.

Власники або уповноважені ними органи підприємств, установ, організацій та громадяни – суб'єкти підприємницької діяльності зобов'язані забезпечувати переробку, утилізацію та своєчасне вивезення відходів, які забруднюють атмосферне повітря, на підприємства, що використовують їх як сировину, або на спеціально відведені місця чи об'єкти.

Стаття 21. Запобігання і зниження шуму

З метою запобігання, зниження і досягнення безпечних рівнів виробничих та інших шумів повинні забезпечуватися:

- створення і впровадження малошумних машин і механізмів;
- удосконалення конструкцій транспортних та інших пересувних засобів і установок та умов їх експлуатації, а також утримання в належному стані залізничних і трамвайних колій, автомобільних шляхів, вуличного покриття;
- розміщення підприємств, транспортних магістралей, аеродромів та інших об'єктів з джерелами шуму під час планування і забудови населених пунктів відповідно до встановлених законодавством санітарно-гігієнічних вимог, будівельних норм та карт шуму;
- виробництво будівельних матеріалів, конструкцій, технічних засобів спорудження житла, об'єктів соціального призначення та будівництво споруд з необхідними акустичними властивостями;
- організаційні заходи для запобігання і зниження виробничих, комунальних, побутових і транспортних шумів, включаючи запровадження раціональних схем і режимів руху транспорту та інших пересувних засобів і установок у межах населених пунктів.

Громадяни зобов'язані дотримуватись вимог, встановлених з метою зниження побутового шуму у квартирах, а також у дворах жилих будинків, на вулицях, у місцях відпочинку та інших громадських місцях.

Стаття 22. Організаційно-економічні заходи щодо забезпечення охорони атмосферного повітря

Для забезпечення охорони атмосферного повітря впроваджуються організаційно-економічні заходи, що передбачають:

- збір за забруднення навколишнього природного середовища;
- відшкодування збитків, заподіяних внаслідок порушення законодавства про охорону атмосферного повітря;

- надання підприємствам, установам, організаціям та громадянам – суб'єктам підприємницької діяльності податкових, кредитних та інших пільг у разі впровадження ними маловідхідних, енерго- і ресурсозберігаючих технологій, застосування заходів щодо регулювання діяльності, що впливає на клімат, здійснення інших природоохоронних заходів з метою скорочення викидів забруднюючих речовин та зменшення рівнів впливу фізичних і біологічних факторів на атмосферне повітря;
- участь держави у фінансуванні екологічних заходів і будівництві об'єктів екологічного призначення.

Розділ IV ДОТРИМАННЯ ВИМОГ ЩОДО ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ, БУДІВНИЦТВА ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ ТА ІНШИХ ОБ'ЄКТІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ АБО МОЖУТЬ ВПЛИВАТИ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Стаття 23. Умови проектування, будівництва та реконструкції підприємств та інших об'єктів, які впливають або можуть впливати на стан атмосферного повітря

Проектування, будівництво і реконструкція підприємств та інших об'єктів, які впливають або можуть впливати на стан атмосферного повітря, удосконалення існуючих і впровадження нових технологічних процесів та устаткування здійснюються з обов'язковим дотриманням норм екологічної безпеки, державних санітарних вимог і правил на запланованих для будівництва та реконструкції підприємствах та інших об'єктах, а також з урахуванням накопичення і трансформації забруднення в атмосфері, його транскордонного перенесення, особливостей кліматичних умов.

Погодження проектів забудови, будівництва та реконструкції підприємств та інших об'єктів, які впливають або можуть впливати на стан атмосферного повітря, здійснюється спеціально уповноваженим органом виконавчої влади з питань містобудування та архітектури із врахуванням висновків природоохоронних, санітарних та інших органів виконавчої влади або органів місцевого самоврядування відповідно до їх повноважень, визначених законом.

Будівництво та введення в експлуатацію нових і реконструйованих підприємств та інших об'єктів, які не відповідають встановленим законодавством вимогам про охорону атмосферного повітря, забороняються.

Стаття 24. Санітарно-захисні зони

З метою забезпечення оптимальних умов життєдіяльності людини в районах житлової забудови, масового відпочинку і оздоровлення населення при визначенні місць розміщення нових, реконструкції діючих

підприємств та інших об'єктів, які впливають або можуть впливати на стан атмосферного повітря, встановлюються санітарно-захисні зони.

Якщо внаслідок порушення встановлених меж та режиму санітарно-захисних зон виникає необхідність у відселенні жителів, виведенні з цих зон об'єктів соціального призначення або здійсненні інших заходів, підприємства, установи, організації та громадяни – суб'єкти підприємницької діяльності, місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування повинні вирішувати питання про фінансування необхідних робіт і заходів та строки їх реалізації.

Стаття 25. Державна екологічна та санітарно-гігієнічна експертиза

Для визначення безпеки для здоров'я людини та екологічної безпеки під час проектування, розміщення, будівництва нових і реконструкції діючих підприємств та інших об'єктів проводиться державна екологічна і санітарно-гігієнічна експертизи у порядку, визначеному законодавством.

Стаття 26. Дотримання вимог щодо охорони атмосферного повітря під час впровадження відкриттів, винаходів, корисних моделей, промислових зразків, раціоналізаторських пропозицій, застосування нової техніки, імпортного устаткування, технологій і систем

Впровадження відкриттів, винаходів, корисних моделей, промислових зразків, раціоналізаторських пропозицій, застосування нової техніки, імпортного устаткування, технологій і систем, якщо вони не відповідають вимогам, установленим законодавством про охорону атмосферного повітря, забороняється. У разі порушення зазначених вимог така діяльність припиняється відповідно до закону, а винні особи притягаються до відповідальності відповідно до закону.

***Розділ V* КОНТРОЛЬ У ГАЛУЗІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

Стаття 27. Контроль у галузі охорони атмосферного повітря

Контроль у галузі охорони атмосферного повітря здійснюється з метою забезпечення дотримання вимог законодавства про охорону атмосферного повітря місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, посадовими особами цих органів, а також підприємствами, установами, організаціями та громадянами.

Стаття 28. Державний контроль у галузі охорони атмосферного повітря

Державний контроль у галузі охорони атмосферного повітря здійснюється спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої

влади з питань екології та природних ресурсів, його територіальними органами, а також іншими спеціально уповноваженими на це органами виконавчої влади.

Порядок здійснення державного контролю у галузі охорони атмосферного повітря визначається відповідно до закону.

Стаття 29. Виробничий контроль за охороною атмосферного повітря

Виробничий контроль за охороною атмосферного повітря здійснюється підприємствами, установами, організаціями та громадянами – суб'єктами підприємницької діяльності в процесі їх господарської та іншої діяльності, якщо вона справляє шкідливий вплив на стан атмосферного повітря.

Стаття 30. Громадський контроль у галузі охорони атмосферного повітря

Громадський контроль у галузі охорони атмосферного повітря здійснюється громадськими інспекторами охорони навколишнього природного середовища відповідно до Закону України „Про охорону навколишнього природного середовища”.

***Розділ VI* ДЕРЖАВНИЙ ОБЛІК ТА МОНІТОРИНГ У ГАЛУЗІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

Стаття 31. Державний облік у галузі охорони атмосферного повітря

Державному обліку в галузі охорони атмосферного повітря підлягають:

- об'єкти, які справляють або можуть справити шкідливий вплив на здоров'я людей та на стан атмосферного повітря;
- види та обсяги забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря;
- види і ступені впливу фізичних та біологічних факторів на стан атмосферного повітря.

Державний облік у галузі охорони атмосферного повітря здійснюється за єдиною системою у порядку, визначеному Кабінетом Міністрів України.

Стаття 32. Моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря

Моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря проводиться з метою отримання, збирання, оброблення, збереження та аналізу інформації

про викиди забруднюючих речовин та рівень забруднення атмосферного повітря, оцінювання та прогнозування його змін і ступеня небезпечності та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі охорони атмосферного повітря.

Моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря є складовою частиною державної системи моніторингу навколишнього природного середовища. Порядок організації та проведення моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Розділ VII ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ ЗА ПОРУШЕННЯ ЗАКОНОДАВСТВА В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Стаття 33. Відповідальність за порушення законодавства в галузі охорони атмосферного повітря

Особи, винні у:

- порушенні прав громадян на безпечне для життя і здоров'я навколишнє природне середовище;
- перевищенні нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин стаціонарних джерел в атмосферне повітря та нормативів гранично допустимого впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел;
- перевищенні нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах пересувних джерел;
- викидах забруднюючих речовин в атмосферне повітря без дозволу спеціально уповноважених на те органів виконавчої влади відповідно до закону;
- перевищенні обсягів викидів забруднюючих речовин, встановлених у дозволах на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря;
- недотриманні вимог, передбачених дозволом на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря;
- провадженні незаконної діяльності, що негативно впливає на погоду і клімат;
- впровадженні відкриттів, винаходів, раціоналізаторських пропозицій, нових технічних систем, речовин і матеріалів, а також закупівлі в інших державах та експлуатації технологічного устаткування, транспортних засобів та інших об'єктів, які не відповідають вимогам, встановленим законодавством про охорону атмосферного повітря;
- порушенні встановлених законодавством правил складування та утилізації промислових і побутових відходів, транспортування, зберігання і застосування пестицидів і агрохімікатів, що спричинило забруднення атмосферного повітря;

- проектуванні і будівництві об'єктів з порушенням встановлених законодавством норм та вимог до охорони атмосферного повітря;
- невиконанні розпоряджень та приписів органів, які здійснюють державний контроль у галузі охорони атмосферного повітря;
- ненаданні передбаченої законодавством своєчасної, повної та достовірної інформації про стан атмосферного повітря, викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, джерела забруднення, а також приховуванні або перекрученні відомостей про стан атмосферного повітря, викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, екологічну обстановку, яка склалася внаслідок забруднення атмосферного повітря;
- недотриманні норм екологічної безпеки, державних санітарних норм при проектуванні, розміщенні, будівництві та введенні в експлуатацію нових і реконструйованих підприємств, споруд та інших об'єктів, удосконаленні існуючих і впровадженні нових технологічних процесів та устаткування, – несуть відповідальність згідно з законом.

Законами може бути встановлена відповідальність і за інші види правопорушень в галузі охорони атмосферного повітря.

Спори з питань охорони атмосферного повітря вирішуються у встановленому законом порядку.

Стаття 34. Відшкодування шкоди, завданої порушенням законодавства про охорону атмосферного повітря

Шкода, завдана порушенням законодавства про охорону атмосферного повітря, підлягає відшкодуванню у порядку та розмірах, встановлених законом.

***Розділ VIII* МІЖНАРОДНІ ВІДНОСИНИ В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

Стаття 35. Участь України у міжнародному співробітництві в галузі охорони атмосферного повітря

Україна бере участь у міжнародному співробітництві в галузі охорони атмосферного повітря відповідно до законодавства України.

Якщо міжнародним договором України, згода на обов'язковість якого надана Верховною Радою України, встановлено інші норми, ніж ті, що передбачені цим Законом, застосовуються норми міжнародного договору.

***Розділ IX* ПРИКІНЦЕВІ ПОЛОЖЕННЯ**

1. Цей Закон набирає чинності з дня його опублікування.
2. Кабінету Міністрів України протягом шести місяців з дня набрання чинності цим Законом:

- подати до Верховної Ради України пропозиції про внесення змін до законів, що впливають з цього Закону;
- розробити і затвердити нормативно-правові акти, передбачені цим Законом;
- привести свої нормативно-правові акти у відповідність із цим Законом;
- забезпечити приведення міністерствами, іншими центральними органами виконавчої влади їх нормативно-правових актів у відповідність із цим Законом.

3. Внести до Закону України „Про охорону навколишнього природного середовища” (1264-12) (Відомості Верховної Ради України, 1991 р., N 41, ст. 546; 1996 р., N 15, ст. 70; 2000 р., N 5, ст. 34) такі зміни:

1) у пункті „д” частини першої статті 17, пункті „ж” частини першої статті 18, пункті „д” частини першої статті 19 та пункті „в” статті 41 слова „викидів і” виключити;

2) у пункті „ж” частини першої статті 20 слова „лімітів викидів і скидів” замінити словами „нормативів гранично допустимих викидів і лімітів скидів”;

3) у статті 44:

частину першу викласти в такій редакції:

„Збір за забруднення навколишнього природного середовища встановлюється на основі фактичних обсягів викидів, лімітів скидів забруднюючих речовин в навколишнє природне середовище і розміщення відходів”;

в абзаці першому частини другої слова „викидів і” виключити.

Президент України

Л. КРАВЧУК

м. Київ, 16 жовтня 1992 року
№ 2707-ХІІ

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 09.08.2012 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.
