

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

В.В. Трофімович

І.В. Клімова

Н.Є. Журавська

ІНЖЕНЕРНИЙ ЗАХИСТ АТМОСФЕРИ

Конспект лекцій

для студентів, які навчаються за напрямом підготовки
6.040106 “Екологія, охорона навколишнього середовища
та збалансоване природокористування”

Київ 2012

УДК 504
ББК 28.081
Т7

Рецензент О.А. Василенко, канд. техн. наук, професор

Затверджено на засіданні вченої ради санітарно-технічного факультету, протокол № 14 від 16 вересня 2011 року.

Трофімович В.В.

Т7 Інженерний захист атмосфери: конспект лекцій/
В.В. Трофімович, І.В. Клімова, Н.Є. Журавська. – К.: КНУБА, 2012. –
36 с.

Розглянуто теоретичні основи сучасних методів очищення вентиляційних та технологічних викидів. Надано рекомендації по використанню технологічних рішень.

Призначено для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.040106 “Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування”.

УДК 504
ББК 28.081

© В.В. Трофімович,
І.В. Клімова,
Н. Є. Журавська, 2012
© КНУБА, 2012

ЗМІСТ

Вступ.....	4
<i>Лекція 1. Основи інженерного захисту атмосфери.....</i>	5
Санітарно-захисні зони (СЗЗ).....	5
Потужність джерел викидів.....	5
<i>Лекція 2. Пилоочищення.....</i>	6
Дисперсний склад (ДС) пилу.....	6
Запитання для самоконтролю.....	10
<i>Лекції 3, 4. Основи механіки аерозолів.....</i>	10
Відносно рівномірний рух, взаємодія частинок з газовим (повітряним) потоком.....	10
Нерівномірний рух.....	12
Запитання для самоконтролю.....	14
<i>Лекція 5. Механізми вловлювання аерозолів.....</i>	14
Інерція прямолінійного руху.....	14
Дифузійні процеси.....	15
Механізм седиментації.....	16
Осадження в полі дії електричних сил.....	16
Запитання для самоконтролю.....	17
<i>Лекції 6, 7. Пиловловлювачі та фільтри.....</i>	17
Циклони.....	17
Єфективність пиловловлювачів.....	18
Запитання для самоконтролю.....	21
<i>Лекції 8, 9, 10. Засоби очищення газових викидів.....</i>	21
Основні положення з очищення газових викидів.....	21
Абсорбційний метод очищення газових викидів.....	22
Рівновага в системі газ-рідина.....	24
Кінетика процесу абсорбції.....	26
Класифікація технологічного обладнання для абсорбційного очищення газових викидів.....	28
Запитання для самоконтролю.....	31
Список літератури.....	32

ВСТУП

Цілеспрямовані антропогенні дії на природу зумовлюють не тільки позитивний вплив, але й призводять до негативних наслідків. Важливою характеристикою галузі промисловості та показником науково-технічного рівня й культури виробництва є ступінь екологічності роботи її підприємств.

Бакалаври, спеціалісти, магістри екології усіх форм навчання в ході професійної діяльності планують та організовують інженерні заходи з охорони довкілля.

Перша частина конспекту лекцій «Інженерні методи захисту біосфери» висвітлює екологічні характеристики атмосфери Землі як частини біосфери.

Друга частина присвячена основам інженерного захисту атмосфери від забруднення аерозолями та газовими викидами.

Дисципліна вивчається після дисциплін фундаментальної природознавчої підготовки.

Метою вивчення даного курсу є отримання знань про інженерні методи захисту атмосфери від забруднювачів.

Лекція 1. Основи інженерного захисту атмосфери

Санітарно-захисні зони (СЗЗ)

Виконання положень ст. 5 Закону України «Про охорону атмосферного повітря» здійснюється на основі реалізації вимог до планування і забудови населених пунктів [10], санітарних правил охорони атмосферного повітря населених місць [10, 11], створення вузлів пилогазоочищення в системах вентиляції, реалізації галузевого нормативного документа з розрахунку розсіювання шкідливих речовин [5] у викидах підприємств.

Населені пункти повинні бути віддалені від промислових підприємств і об'єктів, які мають викиди шкідливих речовин в атмосферу, на відстані санітарно-захисної зони.

Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (ДСП) [10] представляють санітарну класифікацію підприємств та виробництв і відповідно до класів – розміри санітарно-захисних зон.

Всього визначено п'ять класів: I (А та Б), II, III, IV, V і, відповідно до них, п'ять розмірів СЗЗ:

I (А та Б)	– 3000 м та 1000 м;
II	– 500 м;
III	– 300 м;
IV	– 100 м;
V	– 50 м.

Потужність джерел викидів

Віднесення джерел викидів до таких, для яких обов'язкове очищення і таких, які мають малу потужність, здійснюють за рекомендаціями розділу «Викиди повітря» [18].

Викиди малої потужності, як правило, від джерел витяжної вентиляції з природною тепловою або вітровою рушійною силою побудженням не очищають.

В інших випадках передбачається очищення викидів з подальшим розсіюванням і контролем забруднення за межами СЗЗ.

Під час розрахунків розсіювання за методикою [5], ключовими показниками джерела є його потужність M , г/с і висота. Потужність

джерела визначається технологічним процесом і ефективністю вузла пило-, газоочищення.

Лекція 2. Пилоочищення

Дисперсний склад (ДС) пилу

Вибір технології та конструкції вузла очищення залежить від фізико-хімічних властивостей пилу. Серед них головні – густина, злипання, абразивність, електричні характеристики (питомий опір та зарядженість), змочуваність, пожежо- та вибухонебезпечність, дисперсний склад [7].

ДС – характеристика розмірів і кількості частинок, з яких складається пил.

Розміри частинок можуть бути геометричними і аеродинамічними (діаметри Стокса, d_{st}).

Геометричні діаметри визначаються як фактичні:

- за розміром отвору сита, через який проходить частинка (рис. 1) по периметру, $\Pi = \pi d_u$;
- за площею проекції, $F = \frac{\pi d_u^2}{4}$;
- за найбільшим розміром під час дослідження під мікроскопом (довжина волокна).

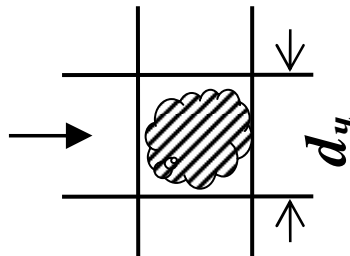


Рис. 1. Діаметр розміру отвору сита

Діаметр Стокса, d_{st} , за подібності густини матеріалу ρ , діаметр частинки сферичної форми, яка має однакову швидкість вільного падіння, що і дана частинка довільної форми.

Аеродинамічний діаметр, d_a – визначається подібно до попереднього, але за умови, що $\rho = 1 \frac{г}{см^3}$. Кількість частинок певних діаметрів визначається за допомогою ситового аналізу на основі каскаду реальних сит, труби класифікатора та каскадного імпактора.

У ході аналізу отримують фракційне розподілення у вигляді таблиці (рис. 2) або в графічній інтерпретації у вигляді **гістограми** розподілення (рис. 3), або у вигляді диференційної кривої розподілення в лінійних (рис. 4) та лінійно-логічних координатах (рис. 5) .

В якості ілюстрації послідовності обробки ситового аналізу пропонується умовний результат ситового аналізу.

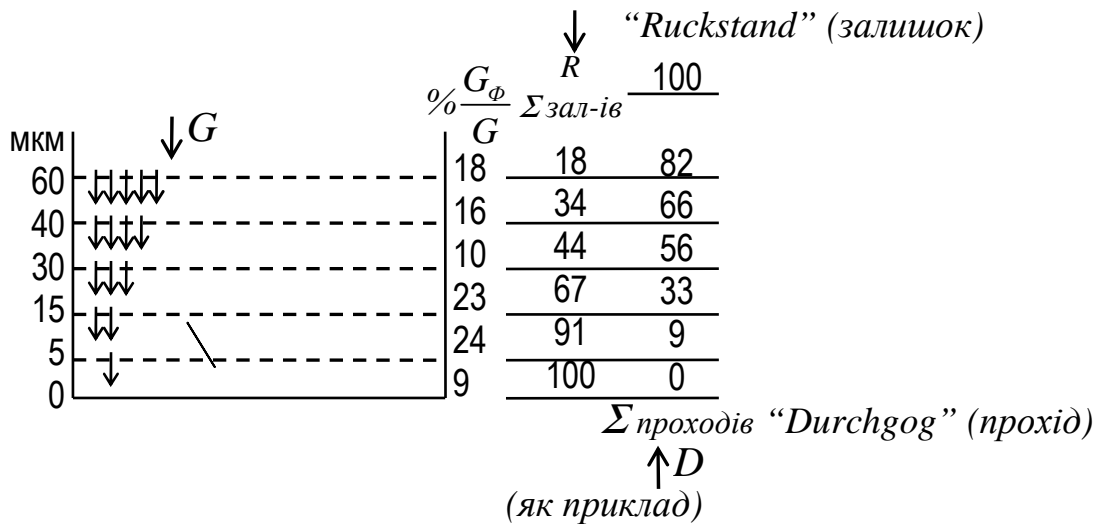


Рис. 2. Каскад умовних сит, таблиця ситового розподілення, послідовна сума «залишків» на ситах (R) і сума «повних проходів» (D)

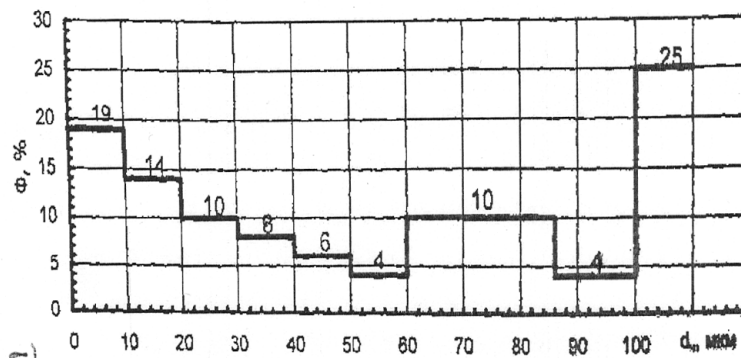


Рис 3. Гістограма розподілення (приклад результату ситового аналізу)

N

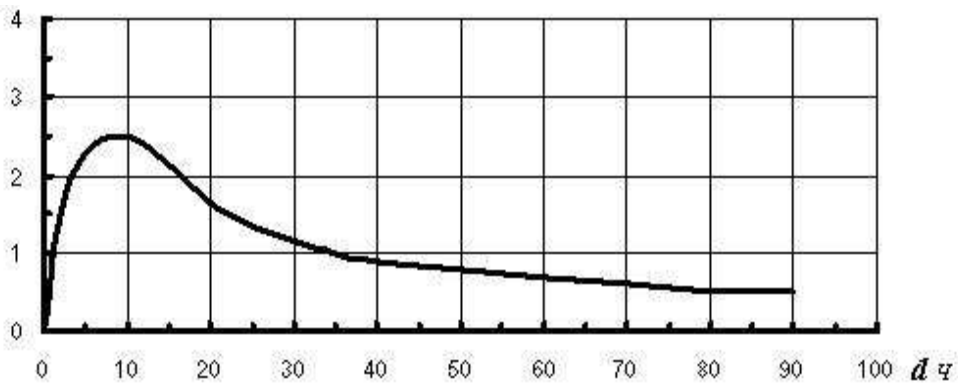


Рис 4. Диференційна крива розподілення в лінійних координатах

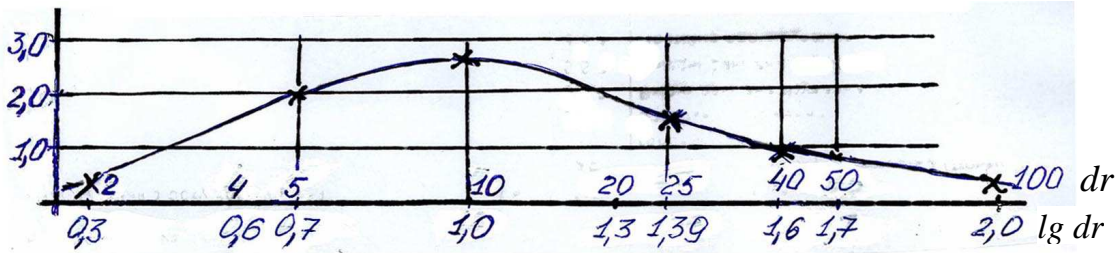


Рис. 5. Диференційна крива в лінійно (N)-логарифмічних ($\lg d_{\text{ч}}$) координатах

Характер залежності, зазвичай, відповідає логарифмічно-нормальному закону розподілення.

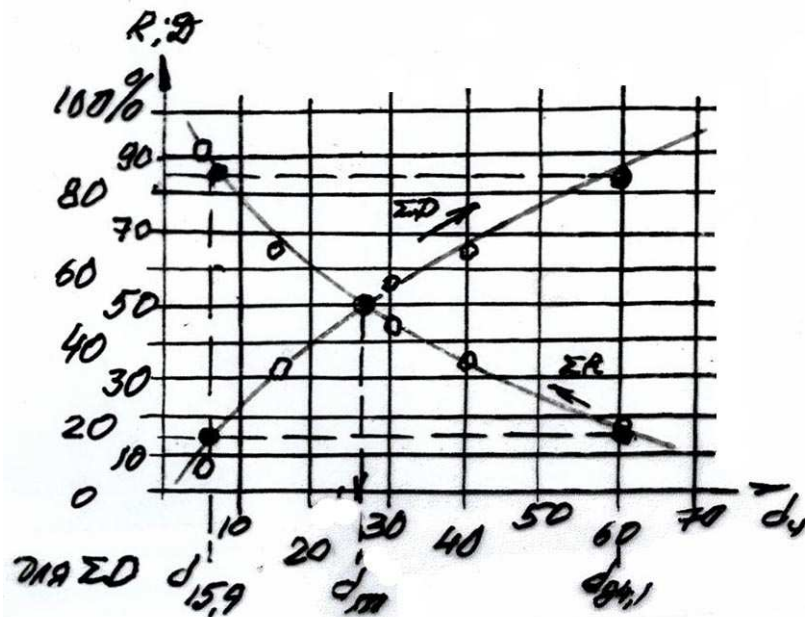


Рис. 6. Інтегральна крива розподілення

Інтегральна сума парціальних (фракційних) кількостей в лінійних координатах у вигляді $\sum D$ послідовно від найменших до найбільших $d_{\text{ч}}$ називається інтегральною кривою розподілення (рис. 6), їй симетрична

сума «залишків» на ситах $\sum R$ відносно точки з координатами $\sum D = 50\%$ і $d_q = d_m$, де d_m – визначається, як медіанний діаметр, відносно якого масові кількості інтегральної суми однакові. Маса частинок, дрібніших за d_m , дорівнює масі частинок, більших за d_m .

Протяжність кривої розподілення кількісно оцінюється за допомогою параметра σ_4 – стандартного відхилення у функції розподілення маси частинок за розмірами. Інтеграл імовірності:

$$D(d_q) = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (1)$$

де $t = \lg \frac{d_q}{d_m} / \lg \sigma_4$.

Інтегральне розподілення в імовірнісно-логірифічній системі координат набуває вигляду прямої лінії, яка проходить через дві точки з координатами (рис. 7).

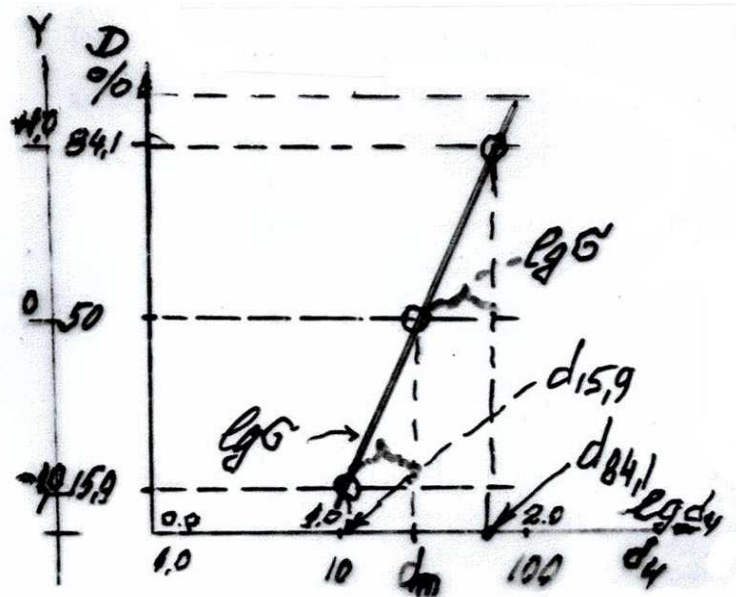


Рис. 7. Спрямованість інтегральної кривої розподілення в імовірнісно-логірифічній системі координат (ІЛСК)

- точка 1 – вертикальна вісь значення нормальної функції розподілення – 0,0 (інтегральна сума $D = 50\%$), горизонтальна вісь – $\lg d_m$;
- точка 2 – вертикальна вісь значення нормальної функції $+1,0$ (інтегральна сума $D = 84,1\%$), горизонтальна вісь – $\lg d_{84,1} = \lg d_m + \lg \sigma$.

Замість точки 2, може використовуватись точка 2^1 з координатами:

$$-1,0 (D = 15,9\%) \text{ і } \lg d_{15,9} = \lg d_m - \lg \sigma.$$

Таким чином, кожний окремий дисперсний склад пилу визначається в полі імовірносно-логарифмічних координат своєю прямою лінією.

Пил різного походження з різним дисперсним складом класифікується за номограмою (ГОСТ 12.2.043 – 80) [17,19].

Розрізняють п'ять класів пилу:

- I – дуже великодисперсний пил;
- II – великодисперсний пил (наприклад, пісок для будівельних розчинів);
- III – середньодисперсний пил (наприклад, цемент);
- IV – дрібнодисперсний пил;
- V – дуже дрібнодисперсний пил.

На основі цієї класифікації створено систему класифікації пиловловлювачів і фільтрів.

Запитання для самоконтролю

1. Назвіть класи СЗЗ?
2. Охарактеризуйте показники дисперсного складу пилу.

Лекції 3, 4. Основи механіки аерозолів

Техніка пиловловлювання ґрунтується на використанні механізмів, які здатні вивести аерозольні частинки з повітряних потоків. Відомі такі силові впливи на пилові частинки:

- масові сили (тяжіння $P = mg$ та інерція $F = ma$);
- гідродинамічні (аеродинамічний опір);
- дифузійні (броунівський рух, термо-, фото-, дифузійфорез);
- поверхневі сили (адгезія, аутогезія);
- електричні сили.

Відносно рівномірний рух, взаємодія частинок з газовим (повітряним) потоком

- Частинки субмікронних розмірів (10^{-9} м)

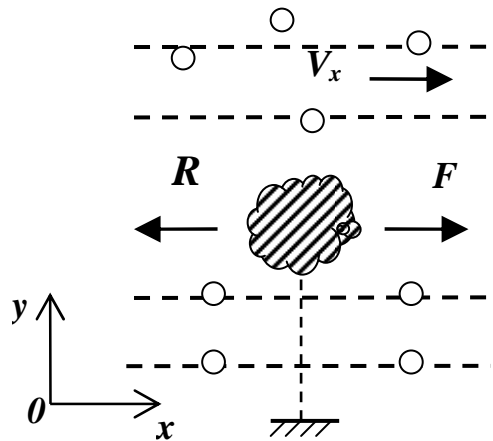


Рис. 8. Розрахункова схема частинки субмікронних розмірів

Розрахункова схема (рис. 8) утримує частинку, яка має механічний зв'язок із стінкою. Зв'язок утримує частинку від руху. Потік рухається в напрямку x із швидкістю v_x , м/с. Розмір частинки настільки малий, що траєкторії газових молекул під час проходження повз неї залишаються прямолінійними. Вплив потоку на частинку виникає внаслідок більшої кількості ударів молекул газу з навітренної сторони, ніж із завітреної.

Створюється сила тиску потоку F на частинку. Так як частинка закріплена, то сила F врівноважується силою реакції R , спрямованої проти течії.

В даних умовах молекулярна механіка дає :

$$F = \frac{3\pi\mu d^2 v_x}{\kappa_{OT} \ell} \mathbf{i} - R + F = 0, \quad (2)$$

де μ – динамічна в'язкість повітря, кг/мс;

κ_{OT} – коефіцієнт відбиття молекул газу;

ℓ – довжина вільного пробігу молекул, $\ell = \frac{\kappa T}{2\pi P d_{m_0}}$;

P – тиск газу;

T – абсолютна температура;

d_{m_0} – діаметр молекул.

– Частинки мікронних розмірів (10^{-6} м)

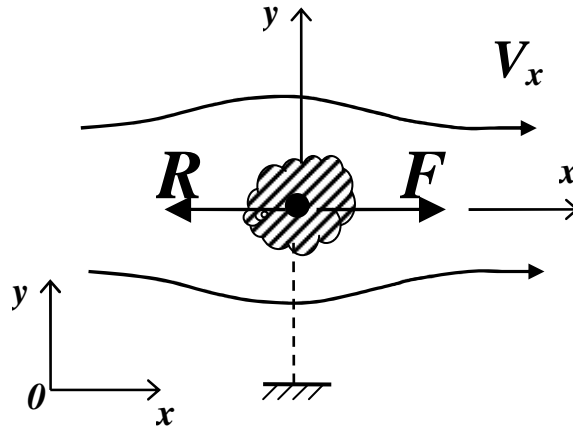


Рис. 9. Розрахункова схема частинки мікронних розмірів

Схема, яку зображено на (рис. 9), подібна до попередньої, але лінії течії обтікають частинку із зміною траєкторії. Як і в попередньому випадку:

$$R + F = 0, \text{ а } F = C_S \frac{\rho V_x^2 \pi d^2}{2 \cdot 4}, \quad (3)$$

де C_S – коефіцієнт Стокса, який залежить від числа Re .

$$\text{Якщо } Re = 1,0, \text{ то } C_S = \frac{24}{Re}, \quad (4)$$

$$\text{Якщо } 3 < Re < 400, \text{ то } C_S = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re}}. \quad (5)$$

Враховуючи, що

$$C_S = \frac{24\gamma}{v_x d} = \frac{24\mu}{v_x \rho d}, \quad (6)$$

де $\gamma = \frac{\mu}{\rho}$ – кінематична в'язкість;

d - діаметр частинки. Якщо вираз (6) підставимо у (3), тоді

$$F = 3\mu\pi d v_x. \quad (7)$$

У свою чергу, роблять припущення, що

$$F = \mu\pi d v_x + 2\mu\pi d v_x, \quad (8)$$

де перша складова – сила тиску, а друга – сила тертя

Нерівномірний рух

Характеризується початковою умовою, коли швидкість частинки v відрізняється від швидкості потоку w .

Загальне рівняння руху в векторній формі має вигляд:

$$m \frac{d\vec{v}}{d\tau} = 3 \pi \mu d (\vec{w} - \vec{v}) \pm \vec{F}, \quad (9)$$

де \vec{F} – вектор деякої іншої сили.

У проєкціях на x та y в прямокутній системі координат:

$$\frac{mdv_x}{dt} = 3 \pi \mu d (w_x - v_x) \pm F_x, \quad (10)$$

$$\frac{dv_y}{dt} = 3 \pi \mu d (w_y - v_y) \pm F_y. \quad (11)$$

Можна розглянути два випадки:

1) рух у горизонтальному потоці зі швидкістю w у напрямку координатної вісі при тому, що частинка має початкову швидкість в тому ж напрямку v , сила тяжіння проєктується в «0» (рис. 10).

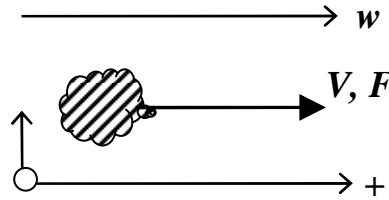


Рис. 10. Горизонтальний рух частинки

Тоді, $m \frac{dv}{dt} = 3 \pi \mu d (w - v)$, при $m = \frac{\pi d^3}{6} \rho_m$, прискорення частинки:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{18\mu}{d^2 \rho_m} (w - v) = \frac{w - v}{\tau}, \text{ а } \tau = \frac{d^2 \rho_m}{18\mu} - \text{ час релаксації частинки або час}$$

основної зміни швидкості. Після інтегрування визначається швидкість частинки через час t :

$$v = w(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}). \quad (12)$$

При $t \gg \tau$ $v = w$, з часом, який більше τ частинка набуває швидкості потоку.

2) Подібним чином розглядається вертикальне осадження частинки під дією сили тяжіння P_T в нерухомому газовому середовищі (рис. 11).

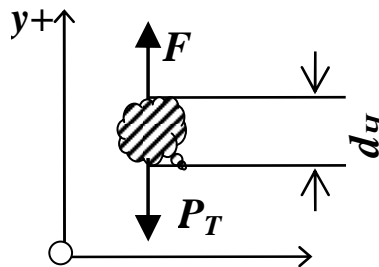


Рис. 11. Вертикальне осадження частинки

$$W = 0, - m \frac{dv}{dt} = + 3 \pi \mu d V - mg, \quad (13)$$

де $P_T = mg$ – сила тяжіння (14)

Рішення рівняння руху і його інтегрування:

$$\frac{dv}{dt} = - \frac{v}{\tau} + g, \quad (15)$$

$$\ln(v - \tau g) = - \frac{t}{\tau} + \ln(-\tau g) \quad (16)$$

З часом частинка набуває швидкості:

$$v = \tau g(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \text{ при } t \gg \tau \quad v = \tau g. \quad (17)$$

В умовах не поступової зміни швидкості, а в стані врівноваженості сили тяжіння і сили гідродинамічного опору, отримуємо подібний результат:

$$F - P_T = 0, \quad 3 \pi \mu d v = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_m - \rho) g, \quad v = \frac{d^2 \rho_m}{18 \mu} g - \text{швидкість вільного падіння.}$$

Запитання для самоконтролю

1. У чому полягає різниця гідродинамічного опору субмікронних та мікронних частинок?
2. Які сили впливають на пилові частинки?

Лекція 5. Механізми вловлювання аерозолів

Інерція прямолінійного руху

Інерція прямолінійного руху створює механізм інерційної сепарації або імпакції (рис. 12).

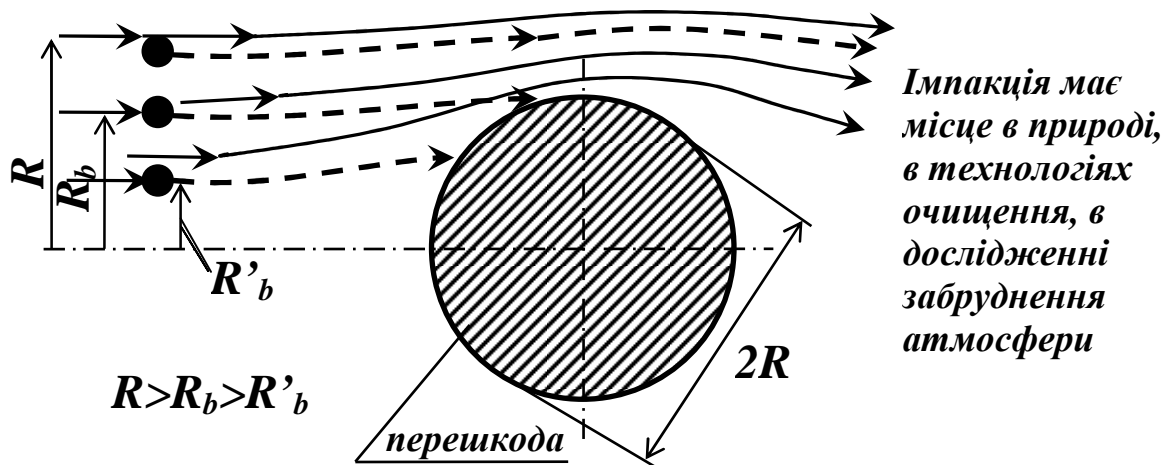


Рис. 12. Схема імпакції

Перешкода діаметром $2R$ розташована на шляху потоку, який переносить аерозольні частинки. Розглядаються 3 частинки на відстанях R_b^I , R_b та R від вісі системи. Частинки на відстані R_b^I не встигають відхилитися від перешкоди разом з повітрям і влучають в неї; частинки на відстані R_b починають відхилятися, але торкаються по дотичній траєкторії, частинки на відстані R обминають перешкоду.

Якщо вважати влучення або торкання до перешкоди ефектом вловлювання (затримання), тоді ефективність перешкоди циліндричної форми $\eta = \frac{R_b}{R}$, кулеподібної форми – $\eta = \frac{R_b^2}{R^2}$; показник η залежить від R_e : $\eta = f(R_e)$.

Під час експериментальних досліджень і теоретичних узагальнень встановлено, що η є функцією K_p (рис. 13),

де $K_p = St = \frac{\tau}{e} v_o$, тобто інерційний параметр (число Стокса) є відношення часу релаксації до часу обминання перешкоди.

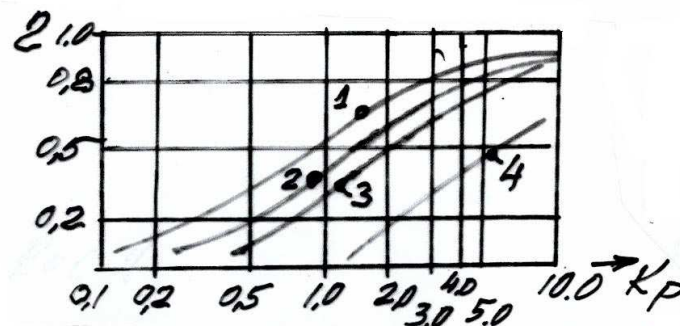


Рис. 13. Залежність ефекту вловлювання від функції K_p

Умовні позначення:

- 1 – сфера, теорія, потенційна течія;
- 2 – сфера, експеримент;
- 3 – циліндр, експеримент;
- 4 – сфера, теорія, в'язка течія.

Дифузійні процеси

Дифузійне осадження працює додатково у разі обминання перешкоди на основі броунівського руху і ефективно для субмікронних частинок (рис. 14).

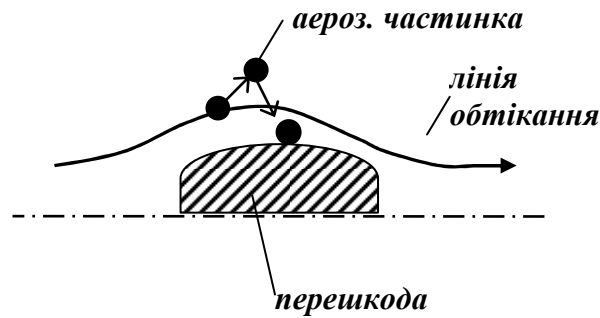


Рис. 14. Дифузійне зрушення з лінії обтікання

Аналітично процес може визначатись швидкістю приєднання частинок до поверхні перешкоди – $\frac{\partial n}{\partial t} = D_a \frac{\partial^2 n}{\partial x^2}$ або швидкістю зникнення частинок з потоку пропорційної концентрації, де x – відстань до поверхні.

Крім того необхідно мати на увазі можливості дифузіофоретичного, термофоретичного і фотофоретичного осадження.

Коагуляція аерозолів, головним чином, відбувається під впливом теплової дифузії, приводить до зміни дисперсного складу (збільшення частинок), сприяє довільному осадженню.

Крім того в пиловловлюючих апаратах створюють умови для коагуляції за рахунок впливу гідродинамічних та акустичних факторів. Фізично коагуляція обумовлена здатністю дрібнодисперсних частинок злипатись між собою та налипати на оточуючі поверхні за рахунок сил молекулярної взаємодії.

Механізм седиментації

Механізм седиментації або осадження під впливом сили тяжіння може здійснюватись, коли під час горизонтального руху пилового потоку аерозольні частинки зі швидкістю вільного падіння досягають поверхні осадження. Фактор турбулентності основного потоку перешкоджає процесу, але для певних геометричних співвідношень (довжина і висота зони осадження), для частинок певних розмірів і маси – осадження може відбутись.

Осадження в полі дії електричних сил [15, 2]

Використовується п'ять видів електростатичних сил:

1. Кулонівська сила взаємодії між зарядженою перешкодою і зарядженою частинкою. Основна сила взаємодії (протягування при різних зарядах) має такий вигляд:

$$F_1 = eE \cos \theta, \quad (18)$$

де e – заряд електрона;

E – напруженість поля;

θ – кут між напрямком поля і лінією центрів частинки та приєднаного іона.

2. Індукційна сила між зарядженою перешкодою і незарядженою частинкою, яка вираховується за формулою:

$$F_2 = \frac{2eE \cos \theta}{(1 + \lambda)^3}, \quad (19)$$

де θ – кут між напрямком поля і лінією наведеного диполя частинки;

$$\lambda = \frac{l - r}{r}, \quad (20)$$

де l – відстань між перешкодою і частинкою; r – радіус частинки.

3. Сила електростатичного відображення між зарядженою частинкою та незарядженою перешкодою (сферою приєднання):

$$F_3 = \frac{e^4}{4r}, \text{ найбільше значення при } \lambda = 1. \quad (21)$$

4. Сила відштовхування між частинками з одноіменними зарядами:

$$F_4 = -\frac{eg}{r^2(1 + \lambda)^2}. \quad (22)$$

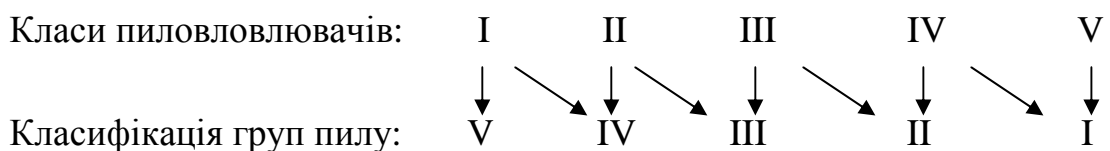
5. Сила притягування між зарядженою частинкою та заземленим колектором (поверхнею осадження).

Запитання для самоконтролю

1. Розкажіть про механізми вловлювання аерозолів.
2. Від чого залежить число Стокса?

Лекції 6, 7. Пиловловлювачі та фільтри

Основні класи пиловловлювачів і фільтрів для очищення викидів, в першу чергу, прив'язані до класифікаційних груп пилів:



Характеристики пиловловлювачів, їх типи, види і основні технічні показники представлені в довідковій літературі [7, 15].

Циклони

Найбільш поширений вид пиловловлювачів – це циклони.

Вони належать до V класу (циклони великої продуктивності) і до IV класу (циклони високої ефективності – одиночні).

Якщо в циклоні для надійнішого утримання відтиснутого до внутрішньої поверхні пилу передбачається зволоження (циклони мокроплівкові – ЦВП та циклони-пробивачі – СНОТ), то їх клас підвищується до III - го.

Циклон працює за принципом використання відцентрової сили для виведення з потоку, який обертається, аерозольних частинок.

Досвід конструювання та використання привів до встановлення певних співвідношень між головними розмірами, які попереджають коротке замикання, надмірний аеродинамічний опір, забезпечують вільне видалення пилу з конічної частини.

Найпоширеніші циліндричні та конічні циклони серії ЦН (- 11, - 15, -15У, -24) для більшості пилу мінерального походження – циклони Діпродеревпрому серії (Ц) Меркушева, Діпродерева, ОЕКДМ («Клайпеда»), призначені для деревообробної промисловості; циклони «ВЦНИИОТ» для абразивного пилу, циклони «ЛИОТ» та «СНОТ» – широкого призначення.

Ефективність пиловловлювачів (ЕП)

Зважаючи на полідисперсний характер механічного складу пилу і встановлений факт окремої здатності пиловловлювачів затримувати матеріальні частинки різних розмірів, ЕП визначається як повна фракційна і парціальна.

Повна ефективність (повний коефіцієнт, η) оцінюється як відношення маси уловленого ($M_{ул}$) пилу до маси пилу на вході в апарат ($M_{вх}$):

$$\eta = \frac{M_{ул}}{M_{вх}} \cdot 100\% \quad (23)$$

Фракційний коефіцієнт очищення (η_{ϕ}) оцінюється як відношення маси вловленої кількості даної фракції до маси даної фракції на вході в апарат:

$$\eta_{\phi} = \frac{M_{\phi ул}}{M_{\phi вх}} \cdot 100\% \quad (24)$$

або

$$\eta_{\phi} = \frac{\Phi_{ул} M_{ул}}{\Phi_{вх} M_{вх}} \cdot 100\% = \eta \frac{\Phi_{ул}}{\Phi_{вх}} \quad (25)$$

Тобто фракційний коефіцієнт дорівнює добутку повного коефіцієнта на відношення вловленої частини певної фракційної кількості ($\Phi_{ул}$) до цієї фракційної кількості на вході ($\Phi_{вх}$).

Парціальний коефіцієнт очищення оцінюється як відношення маси вловленого пилу даного діаметра до маси частинок цього діаметра на вході в апарат:

$$\eta_{\Pi} = \frac{M_{N_{у\text{л}}}}{M_{N_{\text{вх}}}} = \frac{N_{у\text{л}}}{N_{\text{вх}}} \frac{M_{у\text{л}}}{M_{\text{вх}}} \cdot 100\% = \eta \frac{N_{у\text{л}}}{N_{\text{вх}}} \quad (26)$$

де $M_{у\text{л}}$ – доля кількості фракцій уловлена;

$M_{N_{у\text{л}}}$ – доля кількості частинок певного розміру уловлена;

$M_{\text{вх}}$ – доля фракції в загальній кількості пилу на вході;

$M_{N_{\text{вх}}}$ – доля загальної кількості частинок певного розміру на вході.

Значення парціальних ефективностей для різних типів пиловловлювачів (головним чином, з використанням сил інерції під час криволінійного руху) встановлюється в результаті типових випробувань.

Результати випробувань деяких типів представлено в табл. 1.

Параметри визначення ефективності деяких циклонів НДІОГАЗ

Параметри	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11
d_{50}^T , мкм	8,5	6,0	4,5	3,65
$\lg \sigma_{\eta}^T$	0,308	0,283	0,352	0,352
ω_{opt}	4,5	3,5	3,5	3,5

Примітка. Діаметр відсікання відповідає таким умовам роботи циклонів:
 $\omega_{opt} = 3,5$ м/с, діаметр циклона $D = 0,6$ м, густина частинок
 $\rho_{ч,м} = 1930$ кг/м³, динамічна в'язкість газу $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ ПаС.

Графічно парціальна ефективність циклонів відображається прямою лінією в імовірнісно-логічній системі координат (рис. 15).

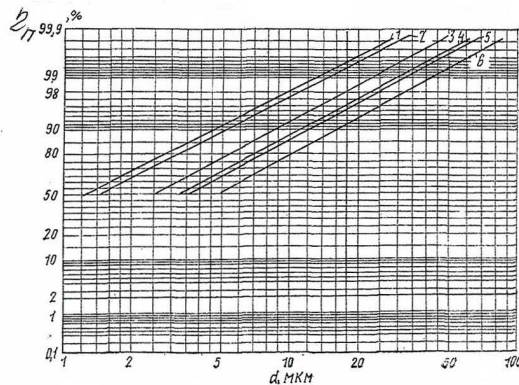


Рис.15. Парціальна ефективність циклонів НДІОГАЗ діаметром 300 мм під час випробовування на кварцовому пилу, $\rho = 2670$ кг/м³, 1 – СК-ЦН-34; 2 – СДК-ЦН-33; 3 – ЦН-11; 4 – ЦН-15; 5 – ЦН-15у; 6 – ЦН-24

Діаметр частинок, для якого парціальна ефективність складає 50%, називається діаметром відсікання d_{50} .

Кут нахилу прямих ліній визначається з допомогою логарифма стандартного відхилення в функції розподілення парціальних коефіцієнтів очищення – $\lg \sigma_{\eta}^T$.

Використання коефіцієнтів очищення η_{ϕ} та η_n за відомого дисперсного складу пилу дає можливість знайти повний коефіцієнт очищення для окремих конкретних умов.

Якщо результат дисперсного аналізу представлений певною кількістю фракцій і з'ясовані фракційні коефіцієнти очищення, то повний коефіцієнт очищення визначається як сума добутків фракційних кількостей на фракційні коефіцієнти:

$$\eta = \sum \eta_{\phi} \frac{\Phi_{6x}}{100}. \quad (27)$$

Використання функції парціальних коефіцієнтів і характеристик розподілення в дисперсії пилу приводить до повного коефіцієнта в результаті обчислення:

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} = \Phi(x), \quad (28)$$

$$\text{де } x = \frac{\lg \frac{d_m}{d_{50}}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta} + \lg^2 \sigma_{\phi}}}, \text{ а} \quad (29)$$

$$t = \frac{\lg d_{\phi} - \lg d_m}{\lg \sigma_{\phi}}. \quad (30)$$

З залученням табличних значень нормативної функції розподілення [15].

Розрахунки, пов'язані з конструюванням циклонного вузла пилоочищення, складаються з трьох етапів:

1. Вибір типу циклона, розрахунок площі перерізу одного чи групи циклонів за рекомендованою оптимальною швидкістю ω_{opt} .

2. Визначення аеродинамічного опору циклонного вузла як місцевого опору:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho \omega^2}{2}, \quad (31)$$

де ω – швидкість повітря в перерізі циліндричної частини циклона, ρ – густина повітря, ξ – коефіцієнт опору вузла, який визначають за формулою:

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi^{c.n.} + K_3, \quad (32)$$

де $\xi^{c.n.}$ – коефіцієнт місцевого опору циклона, K_1 – поправка на діаметр, K_2 – поправка на запиленість, K_3 – поправка на тип групи (компонування, підведення та відведення повітря).

3. Визначення повного коефіцієнта очищення, в ході якого уточнюють діаметр відсікання за реальних (порівняно з типовими) умов циклона:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\frac{D}{D_T} \cdot \frac{\rho_{c.m.}}{\rho_c} \cdot \frac{\mu}{\mu_T} \cdot \frac{\omega_T}{\omega}}. \quad (33)$$

Параметр X знаходять з використанням характеристик дисперсного складу пилу i за табличним значенням нормальної функції розподілення [7, табл. 1.11] знаходять $X \rightarrow \Phi(X) = \eta$.

Запитання для самоконтролю

1. Розкрийте зміст поняття повної ефективності.
2. Розкрийте зміст поняття фракційної ефективності.
3. Розкрийте зміст поняття парціальної ефективності.
4. Що таке діаметр відсікання?
5. Що таке стандартне відхилення в функції розподілення парціальних коефіцієнтів?

Лекції 8, 9, 10. Засоби очищення газових викидів

Основні положення з очищення газових викидів

Газоочищення являє собою складний технологічний процес. Залежно від фізико-хімічних властивостей забруднювачів, використовуються абсорбція, адсорбція, конденсація, хімічне перетворення, термічне і термокаталітичне окислення, біологічні методи [1 – 4].

Абсорбційне очищення полягає у створенні умов контакту забрудненого викидного повітря (газів) з рідиною, яка виступає в ролі розчинника забруднювача. Залежно від здатності до розчинення, використовують водні і неводні системи.

Адсорбція полягає в притягненні й утриманні інших речовин (газів і рідин) частинками (атомами, молекулами, іонами) твердої речовини, які знаходяться в поверхневому шарі. Як адсорбенти використовують спеціально підготовлені речовини з розвиненою поверхнею: активоване вугілля, силікагель, синтетичні цеоліти, алюмогель, відбілюючі та діатомові землі. Рівновага процесу адсорбції характеризується ізотермою й ізобарою адсорбції. Головні показники для розрахунку адсорбції – це адсорбційна ємність (активність) адсорбентів та їхня поверхня.

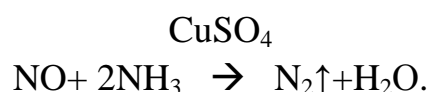
Хімічні методи очищення стосуються, головним чином, оксидів азоту NO_x і оксидів сірки SO_x . Використовуються некаталітичний і каталітичний процеси поновлення сполук азоту типу NO і NO_2 в результаті домішування аміаку в димові гази за температури $900 - 1000\text{ }^\circ\text{C}$ і в реакторах, в присутності каталізатора V_2O_5 за температури газів $300 - 400\text{ }^\circ\text{C}$.

Хімічний спосіб очищення відхідних газів від SO_2 полягає у переведенні газоподібної сіркоутримуючої домішки в нерозчинну тверду фазу в реакціях типу:

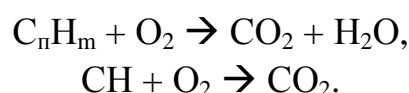


Як реагент, крім вапна, використовують і вапняк. Крім того, існує хімічний спосіб одночасного вилучення SO_2 і NO в процесі з

використанням CuO/CuSO₄. Спочатку поглинається оксид сірки SO₂+CuO+O₂ → CuSO₄ за t 390°C, в другій стадії відбувається поновлення азоту за наявності CuSO₄:



Певні групи летких органічних сполук (VOCs), а також СО можуть бути вилучені з атмосферного викиду шляхом їх допалювання. Обмеження способу настає за наявності у викиді галогенів або інших контамінантів (P, S), які під час термічної обробки дають вихід речовин токсичніших, ніж вихідна суміш. Отже, здійснюються реакції окислення:



Ефективність процесу допалювання, η , визначається рівнянням:

$$\ln \frac{1}{1-\eta} = A \cdot \tau \cdot 2(T_K - T_B),$$

де A – характеристика турбулентного перемішування суміші;

τ – час перебування в камері допалювання;

T_K – температура в камері;

T_B – температура запалювання компонента.

При використанні методу мають місце підвищені витрати тепла, яке не завжди можна використати. Тому розроблено термokatалітичний метод, при використанні якого процес відбувається за знижених температур. Температура допалювання в присутності каталізатора Pt для парів органічних розчинників, стиrolу, фенолу, ацетону складає 200°C, при використанні Pd – температура процесу складає 380 – 400°C.

Існують інші каталізатори. Каталітичні реакції можуть відбуватися в трьох областях лімітування процесу: кінетичній, зовнішньо-дифузійній і внутрішньо-дифузійній. Відповідно рушійною силою процесу є або функція концентрації в суміші, або відповідний показник ефективності дифузії і градієнт концентрації в напрямку до каталітично-активної поверхні. Каталітична активність визначається як міра прискорення реакції в присутності каталізатора, в порівнянні зі звичайними умовами допалювання.

Абсорбційний метод очищення газових викидів

Абсорбція – фізико-хімічний процес вибіркового поглинання газів рідиною з утворенням розчинів. Десорбція – процес виділення газу з рідини. Речовину, яка міститься в газовій фазі й при абсорбції переходить в рідку, називають абсорбційним компонентом або абсорбтивом. Речовину,

яка міститься у газовій фазі й при абсорбції не переходить в рідку, називають газом-носієм або інертним газом.

Абсорбент (поглинач) – речовина, в якій відбувається розчинення абсорбуючих компонентів газу, що очищається.

Абсорбер – апарат, в якому відбувається процес абсорбції.

Абсорбцію поділяють на фізичну та хімічну (хемосорбцію).

Під час фізичної абсорбції відбувається фізичне розчинення абсорбованого компонента в розчині, що не супроводжується хімічною реакцією. Абсорбція відбувається у випадку, якщо парціальний тиск абсорбованого компонента у газовій фазі більше його рівноважного парціального тиску компонента над даним розчином. Чим більша різниця між цими тисками, тим більша рухома сила процесу й тим швидше відбувається абсорбція.

Для багаторазового використання абсорбент (поглинач) регенерують фізичними методами: підвищенням температури, зниженням тиску або сукупністю цих параметрів.

Якщо компонент, що поглинається, не має ніякої цінності або процес регенерації дуже трудомісткий, то поглинач використовують декілька разів і після відповідної обробки скидають в каналізацію. Це не є оптимальним рішенням, оскільки забруднюється водне середовище. Метод, що поєднує абсорбцію з десорбцією, дозволяє не тільки добувати корисні компоненти з газових систем й знизити до мінімуму витрати абсорбента, але й відповідає вимогам захисту довкілля.

В якості поглинальних розчинів під час фізичної абсорбції використовують воду, а також органічні й неорганічні розчини, які не вступають в хімічну реакцію з абсорбувальними компонентами. Ефективність добування компонента з газової суміші під час фізичної абсорбції підвищують використанням принципу протитоку з безперервною подачею в абсорбер свіжого розчину.

Під час хемосорбції абсорбувальний компонент вступає в хімічну реакцію з поглиначем, утворюючи нові хімічні з'єднання рідкої форми. При цьому можливі два варіанти – протікання оборотних і необоротних реакцій. В обох випадках рівноважний парціальний тиск компонента, від якого очищається газ, значно нижчий в порівнянні з фізичною абсорбцією. У зв'язку з цим хемосорбційні процеси за рівних умов з фізичною абсорбцією забезпечують повніше добування компонентів з газових сумішей. Регенерацію поглинальних розчинів проводять фізичними й хімічними методами. Фізичні методи використовують при протіканні

оборотних хемосорбційних процесів, а хімічні – необоротних хемосорбційних процесів.

Як поглинальні розчини в процесі хемосорбції використовують водні розчини солей та органічних розчинників. Поглинальні розчини повинні мати високу поглинальну спроможність й селективність по відношенню до компонента, який добувається, бути термічностійкими й спроможними до регенерації, не викликати корозію апаратів та мати невисоку ціну.

Універсальних поглинальних розчинів, що однаковою мірою задовольняють всі вимоги, в практиці абсорбційного очищення газових викидів не існує. У кожному конкретному випадку вибирають абсорбент, який відповідає головним критеріям оптимізації, що можуть бути різними для різних процесів. Як поглинальні розчини використовують водні розчини лугів, кислот, солей, спиртів та органічних розчинників. Поглинальний розчин повинен мати незначну в'язкість та температуру кипіння більшу, ніж води (150°C і більше).

Оптимальні умови процесів абсорбційного очищення газів забезпечуються відповідним співвідношенням між концентраціями речовин, що беруть участь в абсорбційному процесі, в момент рівноваги, та швидкістю, з якою така рівновага встановлюється.

Рівновага в системі газ-рідина

Для вибору оптимальних умов процесу очищення газових викидів від газо- й пароподібних забруднень абсорбційними методами необхідно розглянути з позицій термодинаміки співвідношення між концентраціями рідкої й газової фаз, що встановлюються протягом суттєвого часу дотику фаз. Рівновага визначається термодинамічними властивостями компонента, що добувається, і поглинального розчину та залежить від концентрації, температури й тиску фаз [4].

Склад газової й рідкої фаз виражається такими величинами:

- об'ємна концентрація: C , кмоль/м³ або \bar{C} , кг/м³;
- мольна частка для газової фази: y , мольн. частки, \bar{y} , масової частки;
- мольна частка для рідкої фази: x , мольн. частки, \bar{x} , масової частки;
- відносна концентрація для газової фази: Y , кмоль/кмоль, \bar{Y} , кг/кг;
- відносна концентрація для рідкої фази: X , кмоль/кмоль, \bar{X} , кг/кг;
- парціальний тиск компонента для газової фази: P_K , Па.

Фізична система (рис.16) включає 3 компоненти:

- повітря (інертний газ);
- газ, що поглинається (домішок);
- рідина, що абсорбує (вода або розчинник).

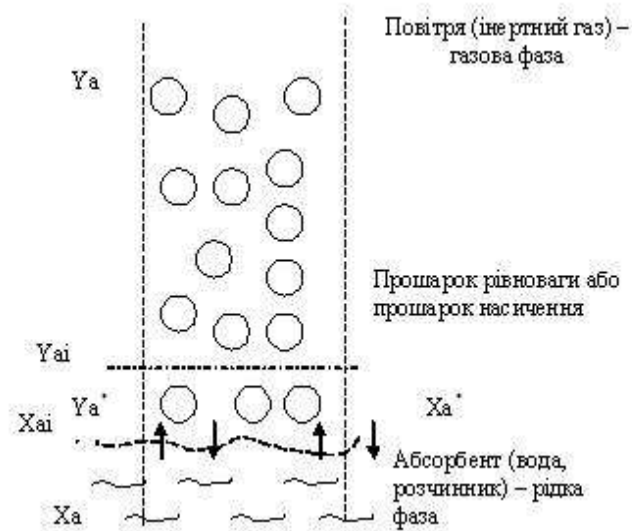


Рис.16. Фазова система «газ – рідина»

Правило фаз (визначає фазову рівновагу):

число компонентів (K) + 2 дорівнює числу фаз (Φ) + число параметрів (N), які можна змінювати без порушення рівноваги в системі.

В системі газ –рідина: $N = K + 2 - \Phi = 3$. Параметри N :

X – концентрація в рідині, P_p – парціальний тиск над рідиною, t – температура.

Під час абсорбції перехід компонента з газової фази в рідку продовжується до тих пір, поки парціальний тиск компонента в газовій фазі стане рівним тиску цього компонента над розчином.

Стан рівноваги між концентрацією газу в газовій та рідкій фазах характеризується константою фазової рівноваги (коефіцієнтом розподілу), яка дорівнює відношенню концентрації компонента в газовій фазі до його концентрації в рідкій фазі. В залежності від способу вираження концентрації в газовій і рідкій фазах, константа фазової рівноваги має такий вигляд:

$$m_c = C_g^* / C_p, \quad (34)$$

$$m_{yx} = y^* / x, \quad (35)$$

$$m_{px} = p^* / x, \quad (36)$$

$$m_{pc} = p^* / C, \quad (37)$$

$$m_{p\bar{c}} = y^* / \bar{C}. \quad (38)$$

Позначення з зірочкою відносяться до рівноважних концентрацій компонентів, а індекси при константі фазової рівноваги відносяться: перший – до одиниць концентрації газової фази; другий – до одиниць концентрації рідкої фази. Якщо одиниці вимірювання концентрацій в газовій і

рідкій фазах однакові, то ставиться один індекс, а константа фазової рівноваги безрозмірна. В решті випадків константа фазової рівноваги має розмірність.

За заданої температури рівняння фазової рівноваги приймають вигляд:

$$Y_a^* = m_{YX} \cdot x, \quad (39)$$

де m_{YX} – константа фазової рівноваги, б/р (безрозмірна величина);

$$\text{або} \quad P_a^* = m_{PX} \cdot x, \quad (40)$$

де m_{PX} – константа Генрі, Па;

$$P_a^* = Y_a^* \cdot P_K, \quad (41)$$

де Y_a^* – мольна доля компонента в шарі насичення.

Кінетика процесу абсорбції

За відсутності рівноваги між фазами відбувається перехід речовини з однієї фази в іншу. Швидкість цього процесу виражається рівнянням масопередачі [8]:

$$U = K_Y \cdot F \cdot \Delta C_{CP}, \quad (42)$$

де U – маса речовини, що переходить з газової фази в рідку за одиницю часу, кг/год;

K_Y – поверхневий коефіцієнт масопередачі (коефіцієнт абсорбції), кг/м²с, Па;

F – площа поверхні дотику фаз, м²;

ΔC_{CP} – середня рухома сила процесу, Па.

Баланс маси на лініях розподілу:

$$U_a = \beta_Y (Y_a - Y_{ai}) = \beta_X (X_{ai} - X_a), \quad (43)$$

де β_Y , β_X – коефіцієнти масовіддачі в газовій та рідких фазах.

$$U_a = K_Y (Y_a - Y_{ai}^*) = K_X (X_{ai}^* - X_a), \quad (44)$$

$$\frac{1}{K_Y} = \frac{Y_a - Y_a^*}{U_a} = \frac{[(Y_a - Y_{ai}) + (Y_{ai} - Y_a^*)]}{U_a}, \quad (45)$$

$$\frac{1}{K_Y} = \frac{Y_a - Y_{ai}}{U_a} + \frac{m(X_{ai} - X_a^*)}{U_a}, \quad (46)$$

де m – константа фазової рівноваги.

Процес масопередачі відбувається у дві стадії. Спочатку відбувається перенесення речовини з газової фази до поверхні дотику фаз, а потім від поверхні розділення в рідку фазу. Відповідно до цього коефіцієнти

масопередачі, що віднесені до концентрації газу (K_y) або до концентрації рідини (K_x), можуть визначатися через коефіцієнти масовіддачі:

$$1/K_y = 1/\beta_y + m/\beta_x \quad (47)$$

або

$$1/K_x = 1/m\beta_y + 1/\beta_x \quad (48)$$

Загальний опір дифузії масопередачі в рівнянні (47) представлено як суму опорів дифузії газової ($1/\beta_y$) та рідкої (m/β_x) фаз. За аналогією в рівнянні (48) доданок ($1/\beta_y$) характеризує опір газової фази, а доданок (m/β_x) – рідкої фази. Аналіз рівнянь (47) та (48) свідчить, що загальний опір масопередачі залежить не тільки від коефіцієнтів масовіддачі β_x та β_y , але й, значною мірою, визначається константою фазової рівноваги, m .

Для газів, що добре розчиняються ($m < 1$), опір рідкої фази (m/β_x) незначний, тому ним можна знехтувати. Тоді відношення коефіцієнта масопередачі до концентрації газу матиме такий вигляд: $K_y \approx \beta_x$. Для газів, що погано розчиняються ($m > 100$), опір рідкої фази (m/β_x) є значним в порівнянні з опором газової фази ($1/\beta_y$). У цьому випадку можна знехтувати опором в газовій фазі, а $K_y \approx m\beta_x$. Якщо константа фазової рівноваги $m = 1 - 100$, то гази розчиняються задовільно. Під час визначення K_y необхідно враховувати коефіцієнти масовіддачі в газовій (β_y) та рідкій (β_x) фазах. Добре розчиняється у воді аміак і хлористий водень, погано розчиняється діоксид вуглецю і задовільно розчиняється діоксид сірки.

Значення коефіцієнтів масовіддачі β_y , β_x визначаються експериментально, використовуючи критеріальне рівняння Нуссельта:

$$Nu = A' Re^n Pr^m \Gamma^d, \quad (49)$$

де Re – критерій Рейнольда; Pr – критерій Прандтля;

Γ – симплекс геометричної подібності;

A' , n , m , d – коефіцієнти, які визначаються експериментально.

Після визначення дослідним шляхом цих коефіцієнтів і рішення рівняння (49), знаходять коефіцієнт масовіддачі в газовій фазі (β_y). За аналогічним рівнянням знаходять коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі (β_x). Потім за рівняннями (47) і (48) знаходять значення коефіцієнтів масопередачі K_y або K_x .

Класифікація технологічного обладнання для абсорбційного очищення газових викидів

Для вирішення технологічних задач з очищення викидів газів від газо- й пароподібних речовин використовуються різні за конструктивними особливостями абсорбери.

Класифікація абсорберів [16]:

- поверхневі (насадні, плівкові);
- барботажні (з суцільним барботажним шаром, тарілчастого типу, з плаваючою насадкою, з механічним перемішуванням рідини);
- розпилювальні (пустотілі форсуночні, труби вентурі, з механічним розпилюванням);
- ежекторні;
- вихрові (односекційні, двосекційні);
- циклонно-пінні (однополичні, багатополичні).

У поверхневих (насадних) абсорберах (рис. 17) контакт газу з рідиною відбувається на змоченій поверхні насадки, по якій стікає зрошувальна рідина. Залежно від щільності зрошування й швидкості газового потоку насадкові абсорбери можуть працювати в різних гідродинамічних режимах: плівковому, підвішування, емульгування та винесення.

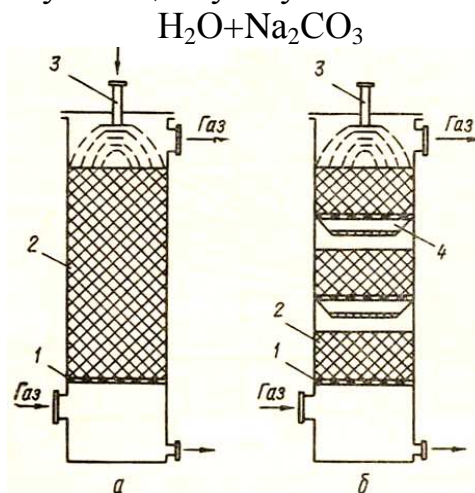


Рис. 17. Насадні абсорбери:

а – з суцільним завантаженням; *б* – з пошаровим завантаженням насадки;

1 – решітка, *2* – насадка, *3* – пристрій, який зрошує,

4 – перерозподільчий пристрій рідини

Ефективність роботи абсорбера визначається типом насадки та її укладанням. Насадка повинна мати малий гідравлічний опір, рівномірно розподіляти рідину, мати високу механічну міцність, добре змочуватися, не забиватися та не мати антикорозійних властивостей. Використовують

такі типи насадок: кільцеві (кільця Рашіга, кільця Лессінга, кільця Палля), сідлові (сідла Берля, сідла Інталокс), хордові, ті які плавають та блочні.

Принцип роботи барботажних абсорберів ґрунтується на проходженні (барботажі) бульбашок газу через шар рідини. Поверхня масообміну в барботажних абсорберах, де рідина є суцільною фазою, а газ – дисперсною, еквівалентна сумарній поверхні бульбашок газу або піни, що утворюються під час барботажу.

Абсорбери з суцільним барботажним шаром виготовляють у вигляді пустотілих циліндрів, в нижній частині яких установлюють перфоровану плиту, що призначена для подрібнення потоку газу на струмені. Недоліком абсорберів з суцільним барботажним шаром є невелика швидкість руху газу (0,3 – 0,4 м/с) та наявність повздовжнього перемішування рідини, що знижує інтенсивність масопередачі.

Барботажні абсорбери тарілчастого типу використовують для збільшення ступеня очищення газу. В цих апаратах по висоті встановлюють декілька полицок, що мають назву «тарілки». Залежно від конструкції тарілок та швидкості пропускання газу розрізняють три гідродинамічні режими роботи барботажних абсорберів: бульбашковий, пінний та струминний.

Для очищення газів, у яких є тверда фаза, використовують абсорбери з насадкою, що плаває. Ці апарати мають високу ефективність за значного гідравлічного опору. Швидкість газового потоку становить 2 – 5 м/с. Як насадку використовують пустотілі кулі або суцільні з отворами, а також куби, піраміди, кільця Рашіга, диски. Використовують такі типи абсорбційних апаратів з насадкою, що плаває: багатополичний абсорбер з насадкою, що обертається; абсорбер з рухомою насадкою, що обертається; абсорбер з конусом, що направляє; абсорбер із скрученим профілем решітки, абсорбер з вертикальною перегородкою.

Розпилювальні абсорбери є конструктивно простими, високопродуктивними, мають малий гідравлічний опір та можуть працювати в широкому діапазоні навантаження за газом й рідиною. Принцип їх роботи ґрунтується на розпилюванні рідини в потоці газу. Їх недоліком, в порівнянні з барботажними апаратами, є менша ефективність під час абсорбції погано розчинних газів.

За способом утворення міжфазної поверхні розпилювальні абсорбери поділяють на форсункові (рис. 18), швидкісні прямоточні, механічні.

В атмосферу

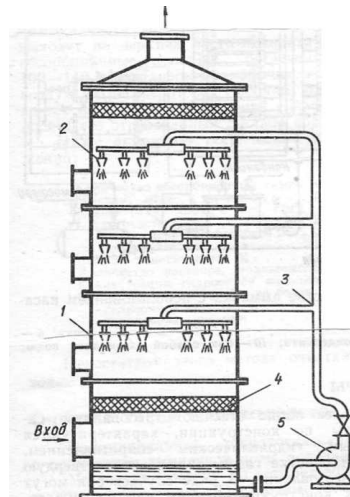


Рис. 18. Конструктивна схема форсункового абсорбера:
1 – корпус, 2 – форсунка, 3 – колектор, 4 – розподільчий екран;
5 – насос

Міжфазна поверхня у форсункових абсорберах формується за рахунок розпилення рідини в апараті різними за конструкцією форсунками. За механізмом дроблення струменя рідини форсунки бувають механічні, пневматичні та з обертовим робочим частиною.

За принципом механічної дії форсунки бувають струменисті, центробіжні, ударної дії та комбіновані. Ефективність дроблення на краплі визначається швидкістю витікання струменя з сопла або каналів форсунки.

В прямоточних розпилювальних абсорберах розпилення рідини здійснюється за рахунок енергії газового потоку. За способом утворення міжфазної поверхні швидкісні прямоточні розпилювальні абсорбери поділяються на апарати, в яких рідина розпилюється за рахунок енергії газового потоку при плівковому, струменистому або форсунковому ввіді рідини; і в яких рідина розпилюється за рахунок енергії газу під час удару газового потоку по поверхні рідини.

Принцип роботи механічних розпилювальних газопромивачів ґрунтується на інтенсифікації масообміну шляхом розбризкування чи перемішування рідини або крутіння зволоженого газового потоку за допомогою обертового пристрою у вигляді ротора, диска.

За способом розміщення ротора механічні абсорбери поділяються на вертикальні та горизонтальні. Залежно від способу підведення механічної енергії, апарати поділяють на такі, в яких газ, що очищується, приводяться в дотик з рідиною, яка розбризкується за допомогою обертового тіла та такі, в яких механічна енергія підводиться додатково для крутіння газового потоку.

Недоліками механічних абсорберів є наявність обертових частин, відносно мала продуктивність та значні витрати електроенергії.

Існує велика кількість абсорбційних апаратів, принцип дії яких базується на інтенсивному перемішуванні та високих швидкостях взаємодіючих фаз. Переважно такі апарати комбінованого типу, в яких використовуються елементи поверхневих, барботажних і розпилювальних абсорберів.

Циклонно-пінні апарати являють собою варіанти пінних абсорберів. Наявність тангенціального підводу і високої швидкості руху газу (до 7 м/с) забезпечує високотурбулентний режим взаємодії фаз, що збільшує ефективність роботи апаратів. Вони відрізняються невеликою енергомісткістю, не забруднюються під час обробки газу з твердими домішками і мають невеликий гідравлічний опір. В залежності від способу утворення закрученого потоку, циклонно-пінні апарати поділяють на равликові, з тангенціальним підводним і з осьовим підводним патрубком та завихрювачем.

В равликових апаратах для завихрювання і рівномірної подачі потоку газу використовується прилад у вигляді равлика, який встановлюється на вході в апарат.

В апаратах з тангенціальним підводним патрубком для спрощення конструкції замість равлика використовується тангенціальний патрубок.

В апаратах з осьовим підводним патрубком і завихрювачем для завихрювання потоку перед його подачею в активний об'єм апарата можуть застосовуватися завихрювачі різних конструкцій.

Для збільшення ступеня очистки газу використовують багатополічні циклонно-пінні апарати з декількома контактними пристроями, які встановлюють по висоті апарата.

Такі апарати мають різну ефективність, метало- і енергомісткість, складність виготовлення. Всі ці параметри повинні враховуватись під час їх вибору для санітарної очистки газових викидів.

Запитання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте засоби очищення газових викидів.
2. Поясніть суть абсорбційного методу очищення газових викидів.
3. Від чого залежить рівновага фаз в системі рідина-газ під час абсорбційного процесу?
4. Наведіть класифікацію абсорберів.
5. Охарактеризуйте принцип роботи насадних, барботажних, розпилювальних та циклонно-пінних абсорберів.

Список літератури

1. ДСП-201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць. – К.: МОЗ України, 1997. – 58 с.
2. ДСП-173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. – К.: Укрархбудінформ, 2002. – 59 с.
3. *John H. Atmospheric chemistry and physics. From Air Pollution to Climate Change / John H. Seinfeld. Spyros N. Pandis. A. Wiley – Interscience publication. John Wiley & sons, inc., 1998. – 132 p.*
4. *С. Калверта. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник в двух частях / Под ред. С. Калверта и Г.М. Инглунда. – М.: Металлургия, 1988 г. – Часть 1. – 760 с., часть 2. – 712 с.*
5. *Трофімович В. В. Основи екології / Трофімович В. В. – К.: ІЗМН, 1996. – 212 с.*
6. *Эльтерман В.М. Охрана воздушной среды на химических и нефтехимических предприятиях / В.М. Эльтерман – М.: Химия, 1985. – 160 с.*
7. *Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД – 86. Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 93 с. – (Госкомгидромет).*
8. *Охрана окружающей среды. / [А.М. Владимиров, Ю.И. Ляхин, Л.Т. Матвеев, В.Г. Орлов.] – Л.: Гидрометеиздат. 1991. – 424 с.*
9. *Русанова А.А. Справочник по пыле-, золоулавливанию / Под общей редакцией А.А. Русановой. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 312 с.*
10. *Кузнецов И.Е. Оборудование для санитарной очистки газов. (Справочник.) / Кузнецов И.Е., Шмат К.И., Кузнецова С.И. – К.: Техника, 1989. – 304 с.*
11. *G. Tyler Miller. Jr. Living in the environment/ G. Tyler Miller. Sevent edition. Wadsworth Publishing Company. Belmont. – California : 1992. – 706 p.*
12. ДСП-201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць. – К.: МОЗ України, 1997. – 58 с.
13. ДСП-173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. – К.: Укрархбудінформ, 2002. – 59 с.
14. *Howard Brsdgman. Global air pollution. Problems for the 1990s. London, Berlhaven Press. 1990. – 262 p.*
15. *Сигал И.Я. Защита атмосферы при сжигании топлив. / Иван Сигал. – Л.: Недра, 1977. – 295 с.*

16. *Закон України "Про охорону атмосферного повітря"*: за станом на 21.06.2001р. / Відомості Верховної Ради України. – К.: Парлам. Вид-во, 2001. – 23 с. – (Бібліотека офіційних видань).
17. *Пирумов А. И.* Обеспыливание воздуха. М.: Стройиздат, 1981. – 295 с.
18. *Г.С. Ракушняк, О.Г. Лялюк.* Засоби очищення газових викидів. К.: ІВНВКП «Укрґеліотех». 2009. – 204 с.
19. *Справочник проектировщика.* Вентиляция и кондиционирование воздуха. Ч. II / Под ред. И. Г. Староверова. – М.: Стройиздат, – 510 с.
20. *СНиП 2.04.05-91.* Отопление, вентиляция и кондиционирование. Госстрой СССР. – М.: АПП ЦИТП, 1992. – 64 с.
21. *Газоочистное оборудование: каталог ЦИНТИ химнефтемаш и др.* – М.: Госстрой, 1981. – 72 с.
22. *Рекомендации по проектированию очистки воздуха от пыли в системах вытяжной вентиляции.* ЦНИИпромзданий Госстроя СССР. – М.: Госстрой, 1985. – 36 с.

Для нотаток

Для нотаток

Навчальне видання

ТРОФІМОВИЧ Володимир Володимирович
КЛІМОВА Ірина Володимирівна
ЖУРАВСЬКА Наталія Євгенівна

ІНЖЕНЕРНИЙ ЗАХИСТ АТМОСФЕРИ

Конспект лекцій

для студентів, які навчаються за напрямом підготовки
6.040106 “Екологія, охорона навколишнього середовища
та збалансоване природокористування”

Редагування та коректура *В.С. Ясінської*
Комп’ютерне верстання *А.П. Морозюк*

Підписано до друку 2012. Формат 60x84
Ум. друк. арк. 1,05. Обл.-вид. арк. 2,25,
Тираж 30 прим. Вид. № 40/І-11 Зам. №

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

E-mai: red_isdat@ua.fm

Видруковано в редакційно-видавничому відділі
Київського національного університету будівництва і архітектури

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи
ДК № 808 від 13.02.2002р.